



FONDO PIZZOFALCONE



10. B. 3
BIBLIOTECA PROVINCIALE

Armadio

XVI



Palchetto

Num.º d'ordine

10-B-3

NAZIONALE
B. Prov.

I

1284

VITT. EM. III

NAPOLI

B.P

2

1986

GUIDE
DU CHAUFFEUR

ET DU

PROPRIÉTAIRE DE MACHINES A VAPEUR

Quelques uns de nos lecteurs rencontreront peut-être dans le cours de cet ouvrage des principes sujets à développements ou à explications : nous nous empresserons de les leur donner, s'ils veulent nous honorer de leur visite, au bureau de MM. Grouvelle et Championnière, ingénieurs civils, 34, rue de Verneuil, à Paris.



607691 SBN

GUIDE DU CHAUFFEUR

ET DU

PROPRIÉTAIRE DE MACHINES A VAPEUR

OU ESSAI SUR L'ÉTABLISSEMENT
LA CONDUITE ET L'ENTRETIEN DES MACHINES A VAPEUR
ET PRINCIPALEMENT DE CELLES DITES DE WOOLF A MOYENNE PRESSION
PRÉCÉDÉ DE PRINCIPES PRATIQUES
SUR LA CONSTRUCTION ET LE SERVICE DES FOURNEAUX
ET LES MOYENS D'UTILISER LEUR CHALEUR PERDUE

Suivi d'Observations sur l'utilité comparative des principaux Systèmes
de Machines à Vapeur, et de quelques Moteurs.

PAR MM. GROUVELLE ET JAUNEZ

INGÉNIEURS CIVILS

Deuxième Edition

REVUE ET AUGMENTÉE

PAR PH. GROUVELLE, INGÉNIEUR CIVIL



PARIS

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE-INDUSTRIELLE

DE L. MATHIAS AUGUSTIN

QUAI MALAQUAIS, 15

—
1840

1886

ERRATA.

Pages. Lignes.

12,	16,	des machines de Marly, ~~lisez~~ :	des machines à vapeur.
49,	8,	Clémance-Desormes,	Clément-Desormes.
67,	19,	Pl. 1 et 2, fig. 11,	Pl. 11, fig. 1 et 2.
74,	14,	Surface de grilles,	Surface des grilles.
	23,	Westerling,	Wesserling.
88,	8,	Briscus,	Briscous.
91,	26,	Pl. 1,	Pl. 13.
121,	16,	3 à 5 k. de houille,	de 3 à 5 k. de houille.
122,	5,	Pl. 10,	Pl. 13.
144,	8,	Pl. 15,	Pl. 14.
149,	24,	Pl. 13,	Pl. 12.
190,	23,	Fig. 11,	Fig. 8.
202,	27,	Pl. 3, fig. 3,	Pl. 9, fig. 14.
202,	31,	Tuyau e,	Tuyau c.
314,	1,	entraîne,	entraînent.
324,	13,	de 238 à 37,	de 238 à 37.



NOTE

SUR LA SECONDE ÉDITION.



En recueillant l'opinion des manufacturiers et des hommes de l'art sur cet ouvrage, nous avons reconnu qu'ils l'apprécient positivement, parce qu'il est pratique et neuf. Ils ont approuvé les principes et les méthodes que nous avons établis. Ils ont surtout tiré bon parti des détails donnés sur la construction des fourneaux, ce qui nous a décidé à présenter ici un travail plus complet, en y comprenant les principes de construction de toute espèce de fourneau, et, comme exemple, les moyens d'utiliser la chaleur perdue des fours de forges, des fourneaux à vapeur, et aussi la vapeur perdue des machines sans condensation. Nous avons ajouté deux articles sur les chaudières des steamers et des locomotives, et donné une formule plus générale pour calculer la puissance des machines à vapeur. Profitant de toutes les observations dont cet ouvrage a été l'objet, bien des corrections ont été faites. Des planches nouvelles, la révision de tout le travail, la refonte complète du livre relatif à la construction des fourneaux, en feront, nous l'espérons, un ouvrage nouveau plus digne de la bienveillance qu'a rencontrée la première édition.



THE
LIBRARY OF THE
UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE
WASHINGTON, D. C.

OBSERVATIONS PRÉLIMINAIRES.

L'ouvrage que nous publions ici est un manuel pratique, destiné aux manufacturiers qui emploient des machines à vapeur, ou qui seraient en position d'en employer, et aux ouvriers chargés de les monter et de les conduire. Si nous avons atteint le but que nous nous sommes proposé en le composant, ils y trouveront réunis et développés, les meilleurs moyens de conserver ces machines en bon état, de reconnaître et de réparer promptement les accidents auxquels elles sont sujettes, d'en obtenir le plus grand travail dont elles soient capables, avec la moindre dépense d'entretien et de combustible, et en même temps la meilleure marche à suivre pour les établir. Ils y trouveront, en un mot, exposés avec simplicité et dans les plus grands détails, les résultats pratiques de l'expérience que nous avons acquise, en montant et conduisant des machines et des ateliers.

Nous avons lieu d'espérer que cet ouvrage leur sera réellement utile. Bien que, sous le rapport de la disposition des idées, et du style, il se ressente nécessairement des travaux d'ateliers au milieu desquels nous l'avons rédigé, il a cependant le mérite d'être écrit avec franchise, de toucher directement aux points importants, et, par suite, de pouvoir être lu et compris; ce qui n'arrive pas toujours aux ouvrages de ce genre, parce que, le plus ordinairement, les écrivains ne connaissent pas les ateliers, et que les hommes d'atelier n'écrivent qu'après s'être retirés des travaux, et lors-

qu'ils ne sont déjà plus au courant de l'art qui marche tous les jours en avant.

Tous les manufacturiers qui ont étudié attentivement les machines à vapeur, ont sans doute observé, comme nous, que, lorsqu'elles sont bien construites et bien montées, l'économie de leur consommation et de leurs frais d'entretien, la régularité et la quantité de travail qu'elles peuvent faire, et bien souvent le succès de l'entreprise, dépendent de la manière dont elles sont conduites. En effet, la machine la plus parfaite, si elle est mal soignée, est une source constante de pertes graves, et peut être mise hors de service en peu de mois; le moindre dérangement dans l'ajustement des pièces, qui vient occasionner des frottements nouveaux, des ébranlements et une détérioration rapide, ou qui laisse pénétrer l'air dans le cylindre et le condenseur, augmentent rapidement, et peuvent quelquefois doubler la consommation de houille, la plus forte dépense des machines. Ils ont pu remarquer aussi que presque tous les accidents, sont dus au défaut de soin des chauffeurs : et par conséquent, au peu de surveillance et d'expérience des propriétaires : et que ceux qui n'ont pu être prévus, deviennent souvent irréparables, lorsque l'on n'y porte pas un prompt remède.

Ainsi l'on doit presque toujours à des causes légères et faciles à éviter, ces frais nombreux de réparations et d'entretien, et ces fréquents chômages, dont les conséquences sont si graves, et qui, par suite, en occasionnant des plaintes contre les machines à vapeur, ont empêché pendant longtemps beaucoup d'industriels de les employer avec succès, dans la fausse conviction que leur travail est aussi cher qu'irrégulier. Or, c'est un grave inconvénient, que d'être soumis chaque jour, aux inégalités et aux interruptions d'un moteur, parce que la constance et la régularité du travail, sont au rang des objets auxquels on doit donner l'attention la plus suivie dans un atelier, et qu'aucune perte n'est aussi funeste que celle du temps; telle est la nécessité d'un travail régulier, que l'on a souvent accordé aux machines à basse pression de Watt, la préférence sur les machines à moyenne pression de Woolf, malgré l'importante économie de combustible que présentent ces dernières : les soins plus assidus qu'elles réclament, leurs accidents plus fréquents, et les pertes de temps qui en sont la conséquence, ont paru à bien des manufacturiers, compenser une économie de combustible qui s'élève à environ moitié, mais que le défaut de soin rend souvent

à peu près nulle, comme nous l'avons dit : c'est une question de surveillance.

On trouvera plus loin la comparaison pratique de ces deux systèmes de machines. Il nous suffira de dire ici, que presque tous les inconvénients des machines de Woolf tiennent à ce qu'elles ne sont pas bien conduites ; et quoiqu'elles soient réellement plus difficiles à diriger que les machines de Watt, avec une surveillance active et des soins réguliers, on réunit dans ce système, une économie, de combustible de deux cinquièmes au moins, à la régularité de travail indispensable dans un atelier.

C'est en montant, en employant ou visitant des machines de Woolf, que nous avons été conduits à reconnaître l'importance d'une surveillance éclairée : obligés d'étudier nos machines, et y découvrant chaque jour des faits nouveaux, nous avons compris l'embarras des manufacturiers qui, désirant connaître à fond celles qu'ils emploient, et constamment absorbés par leurs affaires, sont contraints de s'en remettre entièrement à des chauffeurs souvent aussi peu actifs qu'instruits. Nous croyons donc leur rendre service, en exposant les signes auxquels ils reconnaîtront les défauts d'une machine, en leur indiquant le genre de surveillance prompte et facile qu'ils doivent toujours exercer par eux-mêmes, et la marche à suivre pour se rendre chaque jour un compte exact de ses dépenses et de son travail ; enfin, en apprenant aux chauffeurs, quels sont les soins particuliers à lui donner, pour qu'elle développe constamment toute sa force, sans éprouver aucun accident grave.

Les manufacturiers qui emploient des machines à vapeur, doivent se convaincre profondément de cette vérité, que la consommation de combustible formant, dans les machines à vapeur au-dessus de 6 à 8 chevaux, au moins les deux tiers de la dépense journalière, étant de chaque instant, et réclamant quelques soins pour être appréciée jour par jour, toute leur surveillance et leurs mesures doivent s'appliquer à la réduire : qu'ils se persuadent, de plus, que le moindre dérangement dans leur machine, en diminuant sa puissance, augmente immédiatement, sans aucune utilité et dans un très-grand rapport, cette consommation ; que par conséquent il ne faut ajourner, sous aucun prétexte, les réparations ou les détails d'entretien : sans parler même des accidents souvent très-graves auxquels on s'expose par un léger retard. Nous avons vu diminuer de plus d'un quart la quantité de combustible qu'absorbait

une machine, en fermant quelques ouvertures, par lesquelles l'air y pénétrait, et s'opposait à ce que le vide fût complet dans le cylindre et le condenseur (1).

Les manufacturiers auxquels leur surveillance fait découvrir les défauts d'une machine, mais qui ne connaissent pas le moyen de les réparer, se trouvent dans la pénible nécessité, ou de s'en rapporter aveuglément à des chauffeurs chèrement payés, et d'autant plus disposés à faire valoir leurs services, que l'on en éprouve un plus vif besoin, ou de faire venir de loin, à grands frais et avec de longs retards, un mécanicien, à qui une inspection superficielle, ne permet pas de découvrir et de réparer tous ses défauts. Notre but est de leur éviter cette fâcheuse alternative, et de les mettre en état de diriger eux-mêmes les chauffeurs, et de se passer de tout secours étranger et éloigné, hors les cas de ruptures graves. Ils n'ont pas besoin d'être mécaniciens eux-mêmes, mais ils doivent connaître les vices des outils qu'ils emploient, sans se reposer jamais de ce soin sur leurs ouvriers : parce que là, comme partout ailleurs, il faut l'œil du maître.

Nulle part ne sont consignés les renseignements indispensables pour atteindre ce but ; les ouvrages qui, jusqu'à ce jour, traitent des machines à vapeur, ne fournissent à ce sujet rien qui puisse être réellement utile. Afin de remplir cette lacune, nous avons cherché à développer, dans les plus grands détails, les soins qu'exigent les machines à vapeur pour fonctionner régulièrement, les maladies qu'elles éprouvent, leurs symptômes et les remèdes à y apporter. Notre livre n'est pas une compilation : on ne le trouvera pas rempli d'observations déjà publiées ; mais ce qui à notre avis est un éloge que nous avons cherché à mériter, c'est que les hommes qui ont suivi de près la marche des machines, y retrouveront une foule de détails pratiques, et beaucoup de faits appris depuis longtemps à leurs dépens dans les ateliers ; et quelque triviales que ces connaissances puissent paraître, il faut, pour les acquérir, payer chère-

(1) Nous pouvons citer ici l'exemple d'une machine de 12 chevaux, à basse pression, sortie de l'un des plus beaux ateliers de l'Europe, qui n'entraînait qu'une seule paire de meules de moulin avec une consommation de 1500 kil. de houille par jour. Cependant les réparations qu'elle exigeait étaient probablement faciles, puisqu'elle paraissait en assez bon état à l'extérieur, et marchait encore avec régularité.

ment les conseils de l'expérience : que si ces résultats de pratique, ces détails d'atelier, si importants à répandre, ne sont consignés dans aucun livre, si aucun auteur ne s'occupe à les publier, c'est que les uns n'ont pas le temps ou le goût de suivre ce travail, ou qu'ils veulent profiter seuls de leur expérience, et que les autres ignorent ou dédaignent des faits trop au-dessous de la science. Ces derniers, empressés et hardis à donner, de loin des conseils aux manufacturiers, prétendent marcher en avant, sans s'appuyer sur une étude entière des arts qu'ils traitent, et leur indiquer les progrès à faire, sans connaître ni leurs ressources ni leurs besoins : mais avant de faire mieux, il faut savoir faire et faire bien. La description exacte et raisonnée des faits connus, doit précéder l'exposition des projets d'amélioration et des systèmes : autrement on ne sait ni ce qu'il faut chercher, ni dans quelle route le trouver.

D'un autre côté, les écrits de la plupart des hommes qui rédigent des traités d'arts et métiers, et y proposent des améliorations nombreuses, sans être initiés eux-mêmes à la connaissance pratique et approfondie de ces arts, comme ceux qui ont pour objet spécial d'en développer les hautes théories, ne s'adressent qu'à peu d'hommes en état de les comprendre et de les juger. La masse presque entière des industriels, c'est-à-dire tous les entrepreneurs de petites fabrications, et les ouvriers, se trouvent privés de ce puissant moyen d'instruction, tandis que de nombreux ouvrages se croisent inaperçus sur leurs têtes. Ainsi, plus des trois quarts des hommes civilisés, se trouvent déshérités de l'expérience progressive de leurs pères, et enfermés par le cercle étroit de leurs travaux ordinaires ; dans une routine qui force chaque individu à recommencer laborieusement son éducation expérimentale, au lieu de trouver dans les ouvrages où elles devraient être réunies, toutes les observations déjà recueillies dans chaque genre de travail, et les faits qu'une comparaison éclairée pourrait lui faire utilement puiser dans d'autres industries.

Toute connaissance répandue parmi les peuples, tout ouvrage pratiquement utile, afin qu'on le lise et qu'on le comprenne, adressé à ces millions d'hommes qui en ont un si vif besoin, et qui en tireraient un si grand parti, est un pas fait vers leur affranchissement ; c'est un moyen de faire jaillir de leur sein tous ces talents supérieurs qui y existent, et dans une proportion au moins aussi grande que parmi les hommes éclairés, mais qui sont inconnus encore à

eux-mêmes, et perdus pour leur propre bonheur et pour celui de l'espèce humaine. Il faut donc offrir à chacune des branches d'industries des ouvrages capables de développer ces talents cachés, ou de fournir aux esprits ordinaires des connaissances et des ressources qu'ils n'auraient peut-être jamais trouvées par eux mêmes.

La carrière de la mécanique appliquée aux arts, a été longtemps remplie par des hommes sortis honorablement des rangs des ouvriers, parce que tous ceux qui auraient pu y entrer par l'autre extrémité, c'est-à-dire par la science, ont ignoré ou dédaigné les travaux manuels. Mais parmi ces hommes habiles créés spontanément, bien peu se sont rappelés le point d'où ils sont partis, ont pensé à éclairer à leur tour leurs anciens confrères, et tenté de leur faire partager ces connaissances plus relevées, qui les ont si heureusement portés eux-mêmes en avant. La tâche reste donc presque entière. Nous en essaierons une partie, avides que nous sommes de contribuer, autant qu'il sera en notre pouvoir, à répandre quelques connaissances parmi les hommes qui y ont tant de droits.

Tous les résultats que nous donnons ici, sont le fruit de nos observations dans le montage et la conduite des machines à vapeur. Le désir de ne dire jamais que ce que nous savons, nous a fait s'appesantir particulièrement sur les machines de Woolf, à moyenne pression et à deux cylindres, parce que nous les avons mieux étudiées que les autres : en outre, les soins à donner à tous les systèmes de machines, sont du même genre, et nous sommes convaincus, par notre expérience, que quand on est en état de conduire parfaitement les machines à moyenne pression, la surveillance des machines à basse pression, ou de celles à haute pression, le plus fréquemment employées avec celles de Woolf, n'offre pas de difficulté réelle. En effet, soit par leur plus grande complication, soit par la pression plus élevée de la vapeur que l'on emploie, elles sont sujettes à de plus fréquents dérangements que les autres, et demandent des soins plus assidus. Nous donnerons cependant aussi quelques détails sur les machines à basse pression et le règlement de leurs soupapes, afin que, dans cet ouvrage, les chauffeurs trouvent, autant qu'il sera en notre pouvoir, une instruction complète. Nous parlerons aussi des locomotives, machines fort nombreuses aujourd'hui, et pour lesquelles le service des chemins de fer, généralement à court de bons mécaniciens, réclame une instruction spéciale.

Nous consacrerons un article particulier à la comparaison des

frais de consommation et d'entretien, et des chômages proportionnels dans les divers systèmes de machines, pour guider avec certitude les fabricants dans le choix raisonné qu'ils doivent faire suivant les localités, choix qui n'est le plus souvent déterminé que par la présence auprès d'eux de quelques machines d'un système quelconque, et le nom du mécanicien qui les a montées. Nous chercherons à indiquer la marche à suivre, pour apprécier la valeur du travail d'une machine, suivant les lieux et les circonstances, et à la comparer à celle du travail des autres moteurs, comme les chevaux, l'eau et le vent. On sentira facilement combien il est important pour un manufacturier qui veut former un établissement, ou changer son moteur, de pouvoir se rendre à l'avance un compte approché des résultats qu'il doit obtenir. Que d'établissements ont été arrêtés et renversés, parce que l'on n'avait pas calculé d'avance le prix auquel reviendrait la force qu'ils exigeaient ! On trouvera aussi dans cet ouvrage, comme complément, des conseils sur la manière de traiter avec les mécaniciens dans l'achat des machines, et le montage des ateliers. Cet objet est de la plus haute importance, puisque seul il peut garantir à celui qui crée un établissement, souvent même nouveau pour lui, qu'il trouvera dans son moteur toute la puissance, et toutes les conditions nécessaires au succès ; ou qu'il peut au moins lui éviter, en cas d'erreur du mécanicien, un procès long et difficile à juger. A ces conseils, nous avons cru devoir en ajouter quelques autres sur le montage des machines à vapeur, parce que, quoique ce montage regarde essentiellement le constructeur mécanicien, les manufacturiers sont souvent obligés de rétablir des pièces brisées, ou de vérifier la position de celles qui pourraient avoir varié. Il leur est utile, en outre, de pouvoir suivre et surveiller le travail de l'ouvrier monteur, et s'assurer qu'il ne néglige aucune des précautions nécessaires au développement de toute la puissance de la machine.

Nous donnerons aussi la manière de mesurer les effets de la vapeur comme moteur appliqué. Ce dernier objet, qui jusqu'à ce jour a offert peu d'importance aux manufacturiers, en présentera davantage à mesure que se perfectionnera la méthode employée aujourd'hui, pour mesurer la puissance utile des machines à vapeur et de tous les moteurs : et quand on connaîtra exactement la force qu'exigent les divers travaux industriels ; puisque alors l'évaluation pratique et réelle des machines à vapeur, servira de base à

la formation des établissements, et aux traités à passer avec les mécaniciens.

Beaucoup de manufacturiers désireront connaître en même temps la théorie des outils qu'ils emploient, et les chauffeurs, à mesure qu'ils se ressentiront de l'heureuse influence des cours industriels institués dans un grand nombre de villes, éprouveront aussi le besoin de s'instruire davantage : pour satisfaire à ces besoins, sans ôter à notre ouvrage son caractère spécial de pratique, nous avons rejeté dans un appendice un abrégé de la théorie des vapeurs, et des lois auxquelles elles sont soumises, et quelques notes sur celle des machines à vapeur.

Enfin, nous avons terminé par quelques observations sur les ordonnances relatives aux machines à vapeur. Ces ordonnances, rédigées par des hommes qui connaissent peu les machines, confiées pour l'exécution à un corps très-savant, mais qui n'a pas toujours les éléments nécessaires aux jugements à prononcer, nous ont paru, sur plusieurs points, contraires aux conditions qui assurent leurs succès, contraires au but même qu'elles se proposent. Le but en lui-même nous paraît erroné dans le principe social actuel, en ce que, à part même toute idée du droit de propriété, l'indépendance des manufacturiers est plus importante, que toute fausse nécessité de surveillance administrative.

La marche suivie dans cet ouvrage est simple. Nous avons examiné successivement toutes les pièces qui composent une machine du système de Woolf, depuis celles où se produit la vapeur, jusqu'à celles qui transmettent aux outils le mouvement créé. A chaque pièce, nous avons indiqué les accidents qui lui arrivent, les symptômes auxquels on peut les reconnaître, et les remèdes à y apporter.

Nous avons appliqué ces éléments à quelques genres différents de machines à vapeur. Nous avons ensuite réuni, dans un article particulier, le détail de tous les soins nécessaires à la conduite générale et à la surveillance d'une machine, soit de la part des chauffeurs, soit de la part des manufacturiers. Le tracé de chacune des pièces de la machine suffira pour la parfaite intelligence de ce que nous avons à dire. Nous ne sommes entrés que rarement dans les détails de construction et d'ajustement, attendu que nous écrivons plus particulièrement pour des hommes qui ont déjà vu et conduit des machines à vapeur, et qui en connaissent au moins le jeu et la combinaison générale.

Il est enlin un objet auquel nous avons cru devoir donner quelque attention ; c'est la nomenclature des diverses pièces d'une machine. Le premier pas à faire, lorsque l'on veut consigner sur le papier des faits relatifs à une branche encore neuve de connaissances, c'est de fixer l'acception des mots, et d'assigner à chaque objet un nom distinctif. Ce travail n'a jamais été tenté, en France, pour la mécanique ; quelques noms ont été adoptés dans différents ateliers, sans suite et sans ordre ; la plupart du temps, ce sont des noms anglais. Nous avons donc essayé d'appliquer un nom distinct à chacune des pièces qui composent une machine à vapeur. Ne pouvant pas, sans de grandes difficultés, créer des noms qui ne forment qu'un seul mot, et, pour ainsi dire, une langue nouvelle, comme cela a lieu dans la langue mécanique de l'Angleterre, nous avons adopté, lorsqu'il n'existait pas un terme précis et simple, des noms méthodiques, formés d'un mot générique qui s'applique à plusieurs espèces semblables, et d'un autre mot qui les distingue les unes des autres, tels que *bras de rappel*, *bras de la colonne*, etc. ; et lors même que nous n'aurions pas réussi à les choisir heureusement parmi ceux que la routine emploie quelquefois, ils nous serviraient au moins à être clairs, et à éviter des périphrases, des explications et de nombreux renvois, qui ne peuvent qu'embarasser la marche des faits, et en obscurcir le développement. Quoi qu'il en soit, cette première tentative, dût-elle échouer, éveillera, nous l'espérons, l'attention des mécaniciens, et fera naître des efforts plus habiles, et un succès très-important pour les progrès de la mécanique en France.

Cependant, quelque rares que soient les renseignements à puiser dans les ouvrages publiés jusqu'à ce jour, nous en avons trouvé d'utiles, et nous avons cherché à en profiter, soit pour étendre et rectifier nos observations, soit pour comparer entre elles celles des divers auteurs. Nous citons, parmi les plus remarquables, les traités des machines à vapeur et du chauffage de Tredgold, le beau *Traité de la chaleur* de M. Pelelet, l'excellent *Bulletin de la société* de Mulhouse, qui porte si évidemment le caractère de l'expérience théorique et pratique et de l'activité industrielle de ses rédacteurs, le *Bulletin de la Société d'encouragement*, etc., etc. Le peu d'étendue de notre cadre et le but même de l'ouvrage, qui ne doit présenter que des faits clairs et positifs, sans discussion ni développements, ne nous ont pas permis d'in-

diquer chacun des emprunts que nous avons faits et leurs sources diverses. Nous profitons aussi de cette occasion pour exprimer ici notre reconnaissance à M. d'Arcet pour les importantes communications que nous avons dues à son amitié, dans le cours de nos travaux, et en particulier pour les faits relatifs à la construction des fourneaux, et les avis qu'il a bien voulu nous transmettre, et dans lesquels cet ouvrage a puisé un caractère d'utilité plus générale.

Nous prions également nos amis, MM. Casalis et Cordier, Granger, J. F. Saulnier, et Lucas Championnière de recevoir nos vifs remerciements, pour les notes que leur expérience dans les constructions mécaniques les a mis à même d'ajouter à notre manuscrit, et dont nous avons heureusement profité. Nous remercions M. Crepet aîné, de Ronen, des détails pleins d'intérêt que cet habile manufacturier nous a donnés sur la consommation, les frais d'entretien, la durée des pièces principales des machines de Marly, et sur le mode de comptabilité si remarquable qu'il a appliqué à son moteur.

Sans doute quelques uns des accidents si variés qui arrivent aux machines à vapeur manquent à notre travail, soit qu'ils ne se soient pas encore présentés à nous, soit qu'ils nous aient échappé; mais, dans l'espoir de pouvoir un jour rendre cet ouvrage plus complet, si on lui trouve le degré d'utilité que nous croyons y voir, nous prions, dans l'intérêt général de l'industrie, tous les manufacturiers qui auraient occasion de faire de nouvelles et importantes observations sur ce sujet, de vouloir bien nous les communiquer. Nous recevrons avec reconnaissance, cette preuve de l'intérêt universel que l'on prend aujourd'hui, à tous les efforts qui ont pour but les progrès de l'industrie et de l'instruction populaire.

GUIDE DU CHAUFFEUR

ET

DU PROPRIÉTAIRE DE MACHINES A VAPEUR.

PREMIÈRE PARTIE.

DES CHAUDIÈRES ET FOURNEAUX.

1. *Nécessité pour les mécaniciens de connaître la construction des fourneaux.* L'étude des chaudières et des fourneaux appartient principalement à l'art du constructeur de machines à vapeur et de l'ingénieur civil ; cependant nous entrerons dans des développements précis sur cet objet, parce que les manufacturiers sont souvent appelés, soit à rétablir, soit à changer leurs chaudières et leurs fourneaux, et que la plus légère amélioration dans leurs dispositions peut donner immédiatement une importante économie de combustible. D'un autre côté, la plupart des mécaniciens construisent des chaudières trop pe-

tites, et qui ne produisent la vapeur nécessaire à un bon service! qu'à grand renfort de houille et de feu : d'où excès de dépenses, mauvaise marche de la machine et usure rapide du générateur; et cependant ils ont un intérêt direct à employer des chaudières dont la surface soit largement calculée. — Car alors, le combustible, mieux utilisé, produit plus de vapeur; au lieu de $4 \frac{1}{2}$ à 5 k. de vapeur, chaque kilog. de houille peut donner $5 \frac{1}{2}$ et 6 k°. Or, aujourd'hui, le mécanicien est obligé de garantir la consommation de combustible de ses machines, et c'est souvent dans les chaudières et fourneaux qu'il faut chercher les causes d'inexécution de cette garantie. La construction des fourneaux, en particulier, a été si peu étudiée, que les mécaniciens, qui ont un vif intérêt à leur donner toute la perfection possible pour assurer la marche régulière et constante de leurs machines, se laissent encore guider, dans ce travail, par la routine, n'y attachent même que peu d'intérêt, et, en abandonnant ainsi à un ouvrier monteur la direction d'un travail aussi difficile qu'important, s'exposent à de fréquents accidents, dont ils accusent la machine même, tandis qu'un changement facile dans la forme du fourneau en préviendrait le retour ou les effets. Combien de machines paraissent en bon état, auxquelles cependant le feu le plus vif ne peut donner la vitesse demandée : elles réclament, pour bien fonctionner, plus de vapeur que le fourneau n'en peut produire, et sont toujours *lourdes*. La cause du mal est le plus souvent dans une cheminée ou des carneaux trop étroits, qui ne peuvent pas brûler assez de houille, et produire assez de vapeur, ou dans une chaudière qui ne présente pas au feu direct une surface suffisante, et nous prouverons qu'il n'y a peut-être pas une machine de bateau à vapeur qui en soit exempte (1).

(1) Un des premiers mécaniciens de la France a été condamné à payer des dommages et intérêts considérables, parce que des fourneaux qu'il avait con-

2. *Bases de nos principes de construction.* Aujourd'hui, sans être entièrement d'accord sur les meilleures proportions à donner aux fourneaux, on reconnaît la nécessité d'adopter et de suivre quelques principes pratiques que les constructeurs puissent employer avec sécurité et succès. Nous exposerons avec soin les bases desquelles nous sommes partis dans des travaux de ce genre, en les accompagnant de plans détaillés et dessinés à l'échelle, les seuls qui puissent offrir de l'utilité; nous aurons, en outre, la précaution d'y coter les dimensions les plus importantes, comme celles des grilles, des carnaux et des cheminées.

Nous n'entrerons pas dans l'examen méthodique et complet de chacune des pièces dont se compose une chaudière et un fourneau; nous donnerons seulement les éléments pratiques de la construction des fourneaux destinés à produire de la vapeur, déduits de l'expérience, et directement applicables. M. Peclet a généralisé les résultats de ses expériences, et les a convertis en formules qui donnent de bons fourneaux; mais d'abord ces formules sont d'un emploi lent et impossible même pour un ouvrier déjà instruit: et, en outre, le principe fondamental qui préside à la construction des bons fourneaux, la distinction entre *l'influence de la section de la cheminée et des carnaux, qui détermine la quantité de combustible brûlée à l'heure, et l'influence de la surface de la grille qui règle la température à laquelle se fait la combustion*, n'a été vue et appliquée nettement pour la première fois que par M. d'Arcet. Les données pratiques auxquelles il est arrivé, et

struits sur bateaux, manquaient de tirage, et brûlant mal une trop petite quantité de bouille, ne pouvaient pas fournir assez de vapeur et donner par conséquent à la machine la vitesse convenue et nécessaire. La machine était bonne, et, en élargissant ses carnaux, avec quelques journées de maçon il aurait pleinement satisfait à tout ce qu'il avait promis. — C'est ce qu'a fait le propriétaire du bateau, aussitôt après le paiement de l'indemnité.

qu'il nous a communiquées, sont le résultat de nombreux essais, et d'un travail éclairé par la théorie et l'analyse chimique, et longtemps suivi sur les fourneaux de toute espèce qu'il a eu occasion d'établir. Dans toutes les constructions dont nous nous sommes occupés, et où nous les avons appliquées sous toutes les formes, jamais elles ne nous ont failli. Nous en avons constamment obtenu les meilleurs résultats, et quoique les travaux qui portent ce nom, n'aient besoin d'aucune garantie, nous pouvons assurer d'avance aux industriels qui en feront usage, le succès le plus complet. Ajoutons que ces formules empiriques arrivent par une voie beaucoup plus courte et plus facile, mais peut-être moins générale, aux mêmes résultats que les formules trouvées par M. Peclet; ce qui est une remarquable confirmation de la certitude des résultats. Nous n'avons pas besoin de dire que toutes ces considérations s'appliquent à toute espèce de fourneau et d'industrie.

CHAUDIÈRES A VAPEUR OU GÉNÉRATEURS.

3. *Nature et formes des chaudières.* La plupart des chaudières d'évaporation ou de chauffage ont le fond plat; c'est la disposition la plus avantageuse pour l'application de la chaleur développée par le foyer. Dans quelques industries, le besoin de réunir dans un petit espace et un petit volume les dépôts formés au sein du liquide que l'on chauffe, ont fait adopter des formes concaves, comme dans les savonneries, la fonte des graisses, etc. Mais ce que nous disons plus bas, sur les formes des générateurs, s'applique aussi bien aux chaudières dont nous parlons ici, et les principes pour la construction de leurs fourneaux sont les mêmes. Toujours est-il que partout où l'on peut employer des chaudières à fond plat,

chauffées directement par le foyer, on y trouve de grands avantages ; elles se construisent en tôle, en fonte, en cuivre ou en plomb, suivant le travail auquel elles sont destinées.

4. *Essais tentés pour modifier leurs formes.* Leur forme et leur nature varient suivant la pression à laquelle elles doivent travailler. Nous ne parlerons que des formes de chaudières le plus généralement adoptées. Bien des tentatives ont été faites pour modifier ces formes, augmenter la surface de chauffe sans augmenter la surface totale, ou même en réduisant le poids de l'appareil entier, pour le fractionner et obtenir plus de résistance à la pression au moyen de très-petits diamètres, etc.; mais jusqu'à présent rien n'a été produit qui valût réellement en pratique, et dans un service de plusieurs années, les grandes chaudières partout construites, et qui, par leurs dimensions et la facilité du développement de la vapeur, répondent, avec certitude, à tous les besoins les plus rapides. Rien de nouveau en ce genre n'a été accepté dans les ateliers.

En effet, on n'obtient une économie de matière à peine sensible, dans la fondation d'une usine, qu'en compliquant et rendant fort difficiles la construction, l'ajustement, le nettoyage et la réparation des appareils : de sorte que l'excès de dépense en main-d'œuvre compense souvent la réduction dans la matière première. En fractionnant les appareils, on obtient à la vérité une résistance beaucoup plus grande, pourvu qu'on ne veuille pas produire la vapeur sous pression, entre deux enveloppes concentriques ; car alors celle des deux qui est pressée extérieurement par rapport à son centre, a beaucoup moins de résistance, et exige, par conséquent, beaucoup plus de force de métal. Aussi est-ce toujours au-dessus du foyer, à l'endroit le plus chauffé, que cette enveloppe se fend ? C'est par-là que manquent presque tous ces appareils. Mais en tout cas, ce n'est pas par l'effort de la pression que les

chaudières bien établies périssent, c'est par le coup de feu. Ensuite, dans ces appareils fractionnés, la production et le développement de la vapeur, gênés par la circulation, n'ont pas l'instantanéité nécessaire pour remplacer immédiatement celle qui est consommée, et la *machine souffre*.

5. Dans les chaudières des locomotives, où le défaut d'espace et le besoin impérieux, absolu, de réduire le poids de chaque pièce, a fait adopter des chaudières tubulaires, on n'a bien marché qu'en faisant passer, non pas l'eau, mais la flamme, dans les tubes, et laissant l'eau et la vapeur libres dans une grande capacité; et même alors, on a rencontré là ce fâcheux inconvénient, qu'en réduisant au moindre rapport la surface du générateur, et, par conséquent, en portant au plus haut point la production de la vapeur sur une surface donnée, à l'aide d'une grande intensité et d'une application tout immédiate de la chaleur, les surfaces de chauffe se détruisent très-rapidement, comme un bon cheval sous un excès de travail. De plus, dans de semblables chaudières, le réservoir de vapeur est ordinairement trop petit.

6. L'un des plus remarquables appareils de ce genre, et celui qui a donné les plus beaux résultats, et avec lequel on paraît avoir obtenu, dans des expériences assez longues, jusqu'à 9. k. 32 de vapeur pour 1 k. de houille, est celui du savant et respectable Lemare; mais d'abord, toutes les expériences de ce genre sont sujettes à une observation générale sur la manière dont se font les essais, et nous entrerons sur ce point dans quelques détails; puis nous croyons que tous les efforts faits dans cette direction, n'ont pas pu avoir de résultats vraiment utiles. Simplifier les appareils, leur conserver leur unité, leur facilité de construction, de nettoyage, de réparation, leur grande capacité; augmenter largement les surfaces pour atteindre directement un bon emploi du combustible, et réduire plutôt l'épaisseur qui est toujours trop grande; choisir

le métal le plus économique, la forme la plus avantageuse suivant les circonstances : tels doivent être les principes de tout appareil manufacturier.

Nous reviendrons sur cet objet, en parlant des modifications que l'on a tenté d'apporter à la construction des fourneaux.

7. *Chaudières à fond concave.* Les chaudières à basse pression (1) ont ordinairement la forme d'un carré long, leur partie supérieure est cylindrique et le dessous concave (*Pl. 2, fig. 3 et 5*), afin de présenter plus de surface à l'action directe du feu. Quand la chaudière est grande, quelques constructeurs y pratiquent intérieurement un ou deux conduits, dans lesquels ils font circuler la fumée, avant de l'envoyer dans la cheminée, afin de la dépouiller de toute sa chaleur. Le grand avantage qu'offre cette forme, est de présenter au feu une surface plane ou légèrement concave, beaucoup plus favorable à la production de la vapeur qu'une surface cylindrique.

8. *Action du feu sur une surface horizontale.* L'expérience prouve, en effet, qu'une surface plane fournit plus de vapeur, en un temps donné, qu'une surface cylindrique égale, quand elles sont toutes deux exposées directement au feu, et que les fourneaux sont construits sur les mêmes principes. En effet, les côtés a, b, c, d des chaudières cylindriques (*Pl. 2, fig. 1*) ne reçoivent qu'obliquement, et de loin, l'action du feu et son rayonnement, qui agissent sur la maçonnerie laté-

(1) Nous entendons par machines à basse pression, celles qui travaillent ordinairement avec de la vapeur en équilibre avec la pression de l'atmosphère, ou supérieure à cette pression, de 8 à 10 centimètres de mercure. Les machines dites de Watt et Boulton, et toutes celles qui sont construites sur sur le même principe, sont de ce genre. Nous appelons machines à moyenne pression celles qui emploient la vapeur sous une pression de 2 à 4 atmosphères au-dessus de celle de l'air, comme les machines de Woolf; nous nommons enfin machines à haute pression proprement dites, celles où la vapeur travaille sous une pression plus élevée, depuis 5 jusqu'à 7 et 8 atmosphères, comme celles de Trevithick, d'Olivier Evans, de Cavé, etc.

rale, ce qui diminue considérablement l'effet du combustible ; de sorte qu'à circonstances égales, avec des chaudières cylindriques, on n'obtient que 5 k. de vapeur pour 1 k. de houille, tandis que l'on en obtient au moins 6 k. avec des chaudières à surface plane ou concave, et avec des chaudières à bouilleurs, qui agissent à peu près comme les surfaces planes, par suite du peu d'obliquité de leur surface latérale, due à leur petit diamètre, et de la facilité avec laquelle on peut les placer presque dans la masse de houille embrasée.

9. Mais les chaudières à surfaces planes n'offrent pas à la pression de la vapeur une résistance aussi grande que la forme cylindrique. Nous en avons vu dont le fond se bombait pour se rapprocher du cylindre. Elles résistent surtout mal à la pression extérieure, et, dans les grandes dimensions, elles ont besoin d'être consolidées en dedans par une carcasse en fer. On en a vu quelquefois aussi s'écraser sous le poids de l'air extérieur, lorsque le vide s'y produit intérieurement par le refroidissement et la condensation de la vapeur, et que l'on n'a pas eu la précaution de les munir de tubes ou de soupapes de sûreté nommés *reniflards* (Pl. 3, fig. 3), qui permettent à l'air d'y rentrer. De plus, les réparations exigent souvent la démolition d'une grande partie du fourneau, ce qui n'arrive pas avec les chaudières à bouilleurs.

10. *Carneaux intérieurs.* Il y a aussi quelques inconvénients dans les grandes chaudières de cette forme, à avoir une couche d'eau trop épaisse qui ne présente pas une surface assez large à l'action du feu. Pour corriger en partie ce défaut, on y établit souvent un conduit qui sert à porter la chaleur dans le centre même de la masse d'eau ; mais, à moins de donner à ces conduits les dimensions nécessaires au passage de la fumée, et qui alors occupent une grande partie de la capacité des chaudières, leur ouverture est trop étroite ; d'autant plus que le grand refroidissement qu'éprouve

la fumée en passant dans un tuyau entouré d'eau, y diminue encore le tirage, et y fixe beaucoup de suie, qui l'engorge promptement, et le rend mauvais conducteur. Toutes ces causes contribuent à gêner le tirage du fourneau, et, en ralentissant l'activité du feu, à diminuer la quantité de vapeur que le charbon peut produire. Les manufacturiers qui emploient des chaudières de ce genre, et qui s'aperçoivent que le tirage n'est pas assez actif, ne doivent donc pas hésiter à fermer ces conduits, et à faire passer la fumée directement dans la cheminée, après qu'elle a circulé une fois autour de la chaudière. Ils peuvent être certains que, si ce premier carneau de circulation est suffisamment large, en supprimant les conduits intérieurs, ils augmenteront l'effet de leur combustible, au lieu de le diminuer. Nous indiquerons aussi, en parlant des chaudières de bateaux à vapeur, quelles sont les dimensions à donner aux carnaux intérieurs, pour que le tirage ne soit pas gêné, ni ralenti (189).

11. Cette forme de chaudière est fréquemment employée dans les houillères de la Belgique et dans toute l'Angleterre. Beaucoup de constructeurs, pour leur donner plus de force, de résistance et une meilleure application de chaleur, creusent leurs flancs en dedans : mais cette disposition expose la partie inclinée, qui reçoit la chaleur par-dessus, à être souvent brûlée, parce que la vapeur, à mesure qu'elle se forme, est gênée dans son ascension et empêche l'eau d'être en contact avec la paroi métallique. En résumé, malgré quelques inconvénients auxquels on doit parer par les précautions que nous indiquons, et toutes les fois qu'ils ne dépassent pas 5 à 6 m. de longueur, sur 1 m. 50 de largeur, nous regardons cette forme de générateur *comme devant être préférée à basse pression*, parce qu'elle produit avec la même quantité de combustible, une plus grande quantité de vapeur.

Au-dessus de ces dimensions, même à basse pression, nous préférons les chaudières à bouilleurs.

12. *Chaudières cylindriques.* Les chaudières cylindriques ont les deux extrémités sphériques (*Pl. 1^{re}, fig. 1^{re}*), ce qui leur donne plus de force. Toutefois, quand ce sont des chaudières de petites dimensions, et qui ne doivent soutenir qu'une faible pression, il est souvent plus facile de faire les fonds plats (*Pl. 2, fig. 2*); elles sont construites soit en tôle, soit en cuivre, et doivent être rivées avec le plus grand soin, sans cependant que les rivets soient trop nombreux et trop rapprochés l'un de l'autre, car ils affaibliraient considérablement les feuilles de métal, ce qui n'est pas sans danger. L'écartement des rivets doit varier avec la nature et l'épaisseur du métal.

Ces chaudières présentent une construction en même temps simple et solide; la disposition de leurs fourneaux est facile; en un mot, elles sont d'un emploi préférable à celui des chaudières dont nous venons de parler, quand on doit travailler à pression. On doit leur donner un petit diamètre et une grande longueur. Le feu produit plus d'effet, et en même temps elles résistent mieux à la pression de la vapeur. Au-delà de 1 m. 30 pour les chaudières à basse pression, et de 1 m. 20 pour celles à moyenne et à haute pression, et une longueur cinq ou six fois plus grande, c'est-à-dire d'une puissance de 35 à 40 chevaux, nous conseillons aux fabricants d'employer deux chaudières au lieu d'une : elles sont plus solides et moins épaisses, le travail en est plus régulier, et les accidents moins graves et plus faciles à réparer.

13. *Des bouilleurs.* Quant au défaut que nous avons signalé, de produire moins de vapeur à surface égale, de consommer plus de houille pour le même produit, que les chaudières planes ou concaves, et d'exiger, comme celles-ci, pour leur réparation,

la démolition du fourneau, on a réussi à l'éviter, en plaçant sous les chaudières cylindriques, des tubes en tôle ou en cuivre (*Pl. 1^{re}*), qui sont seuls exposés à l'action directe du feu ; et qui peuvent être démontés et changés facilement sans détruire aucune partie essentielle du fourneau : et sous ce dernier point de vue, c'est une mauvaise méthode de construction, que celle de river les bouilleurs aux chaudières d'une manière fixe ; il vaut beaucoup mieux les assembler, au moyen d'une tubulure entrant à queue d'hironde dans celle de la chaudière, et fixée avec du mastic de fonte. Ce genre de chaudière est aujourd'hui adopté presque exclusivement par les constructeurs pour les machines fixes et pour les chauffages.

14. On a reproché aux tubes bouilleurs de compliquer inutilement les chaudières : nous sommes loin de partager cette opinion ; comme nous venons de le dire, ils présentent plus de force que les chaudières à fond plat, et sont plus favorables à la production de la vapeur que les chaudières cylindriques. En même temps, ils préservent utilement la chaudière du contact direct du feu, et de presque tous ses fâcheux effets : on peut alors la construire en fonte (*Pl. 1^{re}, fig. 1^{re}*), qui ne brûle ni ne s'altère jamais, quand on ne laisse pas le fourneau se dégrader, et le feu agir directement sur elle. Il faut recommander aux constructeurs, de donner le plus de diamètre possible aux culottes des bouilleurs, surtout quand il n'y en a qu'une entre le bouilleur et la chaudière ; car il doit nécessairement s'établir là un double courant d'eau, à 150 degrés par exemple, qui sort du bouilleur, et d'eau moins chaude qui y rentre. 0 m. 30 est le minimum à donner au-dessus de dix chevaux. Ces tubes offrent aussi, dans la partie qui supporte l'action la plus vive de la chaleur, et brûle avec le plus de rapidité, une résistance plus grande, vu leur petit diamètre ; enfin, ils peuvent être au besoin changés et raccommodés, promptement, et à moins de frais que la chau-

dière elle-même. Ces avantages sont si grands en pratique, que nous n'hésitons pas à en conseiller l'emploi le plus fréquent, aussi bien pour produire la vapeur à basse qu'à haute pression, toutes les fois que la chaudière devra présenter plus de 2 m. carrés à l'action directe du feu.

15. On adapte souvent aux chaudières de tôle ou de cuivre, trois bouilleurs de même matière (*Pl. 1, fig. 5*); aux chaudières cylindriques, employées dans les machines du système de Woolf, qui ne passent pas une force de 16 à 20 chevaux, on n'en met que deux. Leur diamètre varie de 0 m. 325 à 0 m. 60, et on a considérablement augmenté leurs dimensions. Leurs ouvertures sont aujourd'hui calculées, dans les grandes chaudières, de telle sorte qu'un enfant puisse y être introduit, et en être retiré pour les nettoyages et les réparations.

16. *Chaudières de fonte.* Bien que les chaudières de fonte soient aujourd'hui complètement abandonnées par les mécaniciens, les inconvénients qu'elles présentent ne sont pas plus grands que ceux des chaudières de tôle; car, si elles sont exposées à se fendre quelquefois, celles de tôle sont exposées à brûler. D'un autre côté, comme nous l'avons dit, si l'on entretient le fourneau en bon état, ces chaudières, convenablement nettoyées, peuvent durer indéfiniment, sans jamais s'user ni laisser échapper de l'eau ou de la vapeur, ce qui arrive très-fréquemment aux chaudières de tôle: et la moindre fuite qu'éprouve ainsi une chaudière pendant son travail, consume inutilement une grande quantité de combustible, sans que l'on puisse toujours s'en apercevoir. Nous connaissons des chaudières de fonte qui ont déjà de longues années de service non interrompu, et notre avis est qu'avec des bouilleurs de tôle, les chaudières de fonte sont les plus durables et les meilleures à employer.

Les bouilleurs de fonte sont trop exposés à des ruptures par leur contact direct avec le feu, et surtout quand on aug-

mente leur diamètre. Ils se laissent traverser par la chaleur moins facilement que ceux de tôle; ces derniers doivent donc toujours être préférés. Mais nous sommes convaincus que l'adoption des chaudières de tôle par les mécaniciens, a pour cause principale, la facilité plus grande de fabrication, et surtout la suppression de toute chance de garantie; et cependant un corps de chaudière en fonte durera toujours plus longtemps qu'un corps en tôle. Ces chaudières sont ordinairement formées de deux pièces *A* et *B* (*Pl. 1, fig. 1 et 2*), ajustées ensemble. Voici la méthode adoptée pour leur assemblage. Une des deux pièces *A* pénètre dans l'autre pièce *B* à queue d'hironde, et y est retenue invariablement par le mastic de fonte en même temps que par les boulons. Cette méthode a le défaut de former des bourrelets saillants *a* beaucoup plus épais que le reste de la chaudière; mais comme celle-ci ne doit pas être exposée directement au feu, il y a peu de chances d'accidents, tandis que cet assemblage offre plus de résistance qu'un assemblage à joint plat. Il sera utile d'insister sur la nécessité de mastiquer ces pièces avec la plus grande précaution, parce que ce masticage, s'il n'est pas très-bien fait, se fendra et laissera couler l'eau sur les bouilleurs pendant le travail de la chaudière: et s'ils sont en tôle, le moindre inconvénient sera de consommer inutilement une grande quantité de houille, pour mettre en vapeur toute l'eau écoulée, et de ne pouvoir plus pousser assez vivement la machine. On trouvera plus loin quelques détails sur l'emploi du mastic de fonte (voir troisième partie).

18. *Masticage des bouilleurs.* Nous avons dit que les bouilleurs ne doivent pas être rivés invariablement au corps de la chaudière, parce que, pour les remplacer, il faut couper les rivets, et s'exposer à déchirer les bords du métal. Nous avons dit que ces inconvénients disparaissaient en assemblant les bouilleurs à queue d'hironde et avec un masticage de fonte,

ou au moins avec des boulons, de manière à pouvoir les enlever et les changer avec facilité. Ajoutons qu'il n'est pas inutile de donner aux bouilleurs de tôle, lorsqu'ils sont très-longs, deux tubulures qui facilitent le passage régulier de la vapeur dans la chaudière. Cette disposition n'aurait pas pu être adoptée pour les bouilleurs de fonte, parce qu'ils se seraient toujours brisés en s'allongeant par la chaleur. Nous indiquerons rapidement la manière de les mastiquer.

19. Si le fourneau est nouvellement construit, on laisse la maçonnerie opérer son tassement, afin que la chaudière prenne une position invariable. On met ensuite les bouilleurs *CC* (fig. 1 et 2) en place. Leur queue repose sur un support de fer *b* en forme de croissant, bien préférable à une simple barre de fer ou même à des oreilles, puisque pour enlever le tube on peut dégager, au besoin, le support sans démolir le fourneau. Ce support repose immédiatement sur le sol *d* du conduit qui passe sous les bouilleurs. Quant à la partie antérieure, ce que nous nommerons tête du bouilleur, quelques mécaniciens conseillent de la laisser libre et suspendue à la chaudière, persuadés que, si on la soutenait solidement, la dilatation pourrait, par la résistance qu'elle rencontre, faire rompre le bouilleur même. Nous ne sommes pas de cet avis; nous n'avons trouvé aucun inconvénient à la soutenir sur une barre de fer, ou une plaque de fonte, que la dilatation, du reste très-faible, ferait aisément plier, et le masticage n'est pas obligé de supporter toute cette charge. A plus forte raison doit-on soutenir solidement la queue du bouilleur, quand il n'a qu'une tubulure, puisque ce poids considérable, agissant sur la tubulure placée à une des extrémités, avec un aussi grand bras de levier, ferait sans doute déchirer la tôle.

Le tube repose donc sur un support *bb*, et sur un barreau de fer ou de fonte *e*, que l'on place, autant qu'il est possible de le faire, sur le devant du fourneau, et derrière le châssis de la

porte, pour que le feu ne le brûle pas. Il faut ensuite assurer exactement le collet du bouilleur *E*, au milieu de la tubulure de la chaudière, au moyen de trois calles mises en dedans de celle-ci, et qui permettent de conserver autour de ce collet un espace libre pour recevoir le mastic de fonte : on enlève les calles, quand une partie de cet espace est rempli, et que le tube est invariablement fixé ; car, si on les laissait en place, il deviendrait presque impossible de détacher au besoin ce bouilleur, quand les calles rouillées auraient fait corps avec le mastic et la tôle. Or, en montant une machine, *un mécanicien éclairé et prudent doit toujours prévoir le cas où l'on serait obligé de la démonter, afin de rendre ce démontage facile* ; à plus forte raison doit-on le prévoir, pour des bouilleurs qui sont exposés à de plus fréquents changements, et dont un des avantages est de se renouveler facilement. Il faut par conséquent, avoir soin de donner autour de leur collet, à l'espace vide destiné au masticage, une largeur de 12 à 15 millimètres environ, afin de pouvoir y entrer facilement les burins quand on voudra le démonter. Le mastic plus épais, y prend aussi beaucoup plus de dureté. La plupart du temps, cet espace est tellement étroit, que les outils s'y brisent ou y restent engagés, de sorte que le démontage d'un tube exige quelquefois plusieurs jours d'un travail très-pénible. Le mastic doit être employé par petites parties, et fortement chassé avec un mattoir de fer, jusqu'à ce que l'intervalle en soit entièrement rempli. On le laisse alors sécher deux jours avant de verser de l'eau dans la chaudière, ou si l'on était vivement pressé par le temps. il faudrait entretenir dessous un feu léger pendant 24 heures, pour hâter l'action chimique qui s'y développe et qui le rend inattaquable à l'eau et à la vapeur.

20. Si, malgré ces précautions, on apercevait en remplissant la chaudière, le moindre suintement de l'eau à travers le masticage, il serait indispensable de le recommencer de suite ;

car vouloir travailler malgré cette fuite, ce serait s'exposer inévitablement à percer les bouilleurs, ou à perdre du combustible, et à recommencer après quelques jours, le même travail. Pour éviter toute fuite dans le masticage, pendant le travail de la chaudière, surtout lorsqu'on ne peut pas attendre deux ou trois jours, et pour la relier encore plus solidement avec le bouilleur, on les assemble quelquefois au moyen de deux traverses *F* et *G*, placées l'une dans la chaudière, l'autre dans le tube, et réunies par un boulon *H*, que l'on serre fortement en dedans. Cette précaution est indispensable quand le collet des bouilleurs n'est que peu ou point évasé en queue d'hironde, parce que le masticage ne retient plus assez fortement le tube, pour l'empêcher de descendre par son poids, et par l'action de la vapeur.

ACCIDENTS QUI ARRIVENT AUX CHAUDIÈRES.

21. *Accidents des bouilleurs.* Ce sont, comme on peut le penser, les bouilleurs qui supportent presque toute la fatigue, et les accidents. Exposés directement au feu, le métal dont ils sont formés atteint une température beaucoup plus élevée que le reste de la chaudière; il peut même rougir à l'extérieur s'il est très-épais, ou si l'on n'a pas soin d'enlever les dépôts terreux qui s'y forment sans cesse; car c'est là que se fait la plus grande partie de la vaporisation de l'eau, et les dépôts formés dans le corps de la chaudière, y retombent, s'y amassent, et s'opposant au passage de la chaleur à travers le métal, le font rougir et le brûlent rapidement : le métal rougi et aminci cède bientôt à la pression intérieure de la vapeur, se gonfle en dehors, et finit par crever.

Cet accident a surtout lieu lorsque les chaudières n'ont pas assez de surface de chauffe, ce qui force les chauffeurs, pour faire leur service, à pousser le feu trop vivement. On appré-

ciera mieux cette observation, quand nous aurons indiqué les quantités de vapeur que peut produire une surface donnée de chaudière (32).

22. *Fentes des bouilleurs de fonte.* Quand un bouilleur de fonte vient à se briser, l'eau commence à couler par la fente ; mais cet écoulement, tant qu'il est faible, n'est pas visible pendant le travail de la chaudière, soit que la chaleur resserre le métal et arrête presque entièrement les fuites, soit que l'eau se réduise en vapeur à mesure qu'elle s'écoule, soit par ces deux causes réunies. Mais aussitôt que l'on cesse le feu, la fuite recommence, et détermine toujours un élargissement de la fente : aussi, le tube que l'on avait laissé sain et entier à l'extinction du feu, et qui ne donnait aucune trace de fuite pendant le travail, se trouve-t-il souvent, après une nuit de repos, fendu, et a-t-il inondé le cendrier. Une fuite légère n'est pas inquiétante, et, en cas de besoin, il n'y a pas de danger à travailler quelque temps encore avec un tube fendu, jusqu'à ce que l'écoulement devienne trop fort : le seul inconvénient est de consommer une partie de la houille, pour réduire en vapeur l'eau qui s'échappe par la fente ; cette quantité de houille peut monter très-haut. Nous avons vu marcher, sous deux atmosphères de pression, des tubes dont la fente parcourait la circonférence entière à $1/6$ près. C'est cependant alors un travail très-dangereux, et qu'un manufacturier ne doit se permettre sous aucun prétexte, parce que s'il arrivait un accident aux chauffeurs, il en supporterait à juste titre toute la responsabilité.

23. *Réparations à faire aux bouilleurs de fonte.* On peut aussi, dans un cas urgent, quand un bouilleur est brisé, travailler avec un seul bouilleur, en fermant la tubulure du premier, par l'intérieur de la chaudière, au moyen de mastic de fonte et d'une pierre que la chaleur ne puisse pas faire éclater. Nous ne le conseillons cependant pas : ce sont aussi des pro-

cédés dangereux. Si, au contraire, il n'y a pas d'inconvénients graves à prendre le temps, soit de remplacer, soit de raccommoder le bouilleur brisé ou brûlé, il vaut mieux ne pas attendre que la fente se prolonge. Nous avons donné plus haut le procédé à suivre pour remplacer les bouilleurs; il ne nous reste à exposer que les moyens employés à leur raccommodage, quand la fente n'occupe que $\frac{1}{5}$ ou $\frac{1}{4}$ de la circonférence du tube; car autrement il faut les remplacer immédiatement. Nous donnerons ici un procédé qui est fort répandu, quoiqu'aujourd'hui peu utile. Cependant il existe encore un assez grand nombre de chaudières de fonte, si on ne trouve presque plus de bouilleurs, et d'ailleurs ce procédé peut s'appliquer aussi bien à la réparation de tout appareil de fonte.

24. *Plaque intérieure boulonnée.* Le procédé le plus généralement pratiqué, et qui consiste à garnir en dehors la partie fendue avec une plaque de fonte ou de tôle mastiquée et boulonnée, est très-mauvais, et n'arrête les fuites d'eau que pendant peu de temps: parce que la plaque de tôle et les boulons sont brûlés en un mois de travail. Lorsqu'on emploie un procédé de ce genre, qui s'applique avec succès et sans aucun inconvénient au raccommodage des chaudières ou des bouilleurs, c'est en dedans du tube, ou de la chaudière, qu'il faut placer la plaque de tôle, la mastiquer et serrer les boulons: la pression de la vapeur, tend toujours de plus en plus à lui faire fermer la fente, et jamais à l'ouvrir, comme dans le cas précédent, et cette plaque n'est pas exposée à brûler.

Pour opérer ce raccommodage, on est quelquefois obligé de démonter le tube et de le sortir du fourneau; aussi conseillons-nous toujours aux fabricants d'avoir deux bouilleurs en réserve, afin de pouvoir raccommoder sans perte de temps et sans précipitation ceux qui se briseraient. Voici comment on exécute ce procédé: on fait un trou dans la fonte à chaque extrémité de la fente, ou même un peu plus loin

pour l'arrêter ; puis on en fore une série aux deux côtés et aux bouts de cette fente, à 10 ou 12 centimètres de distance, pour passer les boulons qui doivent tenir la plaque de tôle. On prend la précaution de les fraiser en dehors, afin que, si les têtes de boulons viennent à brûler, le mastic, qui fait corps avec le boulon dans le trou conique, produise l'effet de la queue d'hironde, et tienne la plaque avec autant de force que si ces têtes existaient encore. Dans le même but, on fait aussi les boulons un peu plus forts près de la tête que près des filets ; on ajuste alors la plaque en dedans, et on lui donne la courbure du tube ou de la chaudière, de manière qu'elle couvre complètement la fente et la déborde de 5 à 6 centimètres, puis on enduit d'une couche épaisse de mastic de fonte en pâte un peu molle, toute la partie que la plaque doit couvrir ; on remplit de même les trous des boulons, avant de les y engager ; on serre les écrous également, c'est-à-dire tous à la fois. Deux jours suffisent pour sécher le tout complètement, surtout au moyen d'un feu léger, et ce raccommodage, fait avec soin, peut avoir une durée de plusieurs années, principalement quand il a lieu sur le corps même des chaudières, qui ne sont pas exposées au feu direct comme les bouilleurs.

25. *Procédé de Pauly.* Un autre procédé très-ingénieux est dû à M. Pauly, mécanicien à Rouen. Il a été mis à l'épreuve dans plusieurs établissements avec un succès complet, et peut servir utilement, non seulement au raccommodage des tubes et chaudières, mais encore à celui des cylindres et autres pièces de fonte, qui ne doivent laisser passer ni l'air, ni la vapeur. Son principal objet est de fermer les fentes sans augmenter au dehors l'épaisseur du métal, et sans y laisser aucune tête de boulon qui puisse être promptement brûlée.

Le voici : on ajuste dans la pièce que l'on veut raccommoder, une plaque de forte tôle, assez grande pour couvrir

entièrement la fente, sur laquelle il est même bon de mettre un peu de mastic rouge et d'étoupe; puis on fore un trou de 13. à 14 millim. à l'une des extrémités de la fente, ou un peu au-delà, afin de l'arrêter complètement. Ce trou doit percer la plaque intérieure et la fonte de la chaudière. Si le raccommodage se fait par l'intérieur de la chaudière, on taraude la partie du trou qui traverse la fonte; on le fraise dans la tôle, et on y fait entrer une vis en cuivre jaune qui doit remplir la partie fraisée: quand elle est fortement serrée, on en coupe et arase la tête en dedans, et on la matte fortement au marteau. On perce alors un second trou auprès du premier, et on le ferme par le même procédé; mais il faut qu'il recoupe de 0 m. 003 environ la première vis, pour empêcher complètement toute fuite. On fore ainsi une suite de trous, sur toute la longueur de la fente; de manière qu'ils se recoupent tous, et on y place des vis en cuivre que l'on rive avec soin. Il résulte de là, que la plaque de tôle se trouve serrée contre la chaudière ou le bouilleur, avec une grande force, à l'endroit même de la fente; et quand il n'y aurait pas de mastic, cette pression suffirait pour empêcher l'eau de couler.

Mais il faut, en outre, s'opposer à l'écartement des deux lèvres de la fente, qui aurait nécessairement lieu sous l'action de la chaleur. Pour cela, on place sur la plaque deux ou plusieurs entretoises, en fer méplat, de manière à maintenir la fonte sur le travers de la fente. On fore, comme nous l'avons déjà dit, à chacune de leurs extrémités, un trou qui traverse aussi la chaudière; on taraude la partie de ces trous qui passe dans la fonte; on y visse des vis en cuivre un peu plus fortes que les premières, et on les matte solidement. Si l'on craignait qu'une seule vis ne fût pas suffisante pour empêcher l'écartement, on pourrait en mettre deux à chaque extrémité. Quand toute la fente est ainsi bouchée, on peut travailler immédiatement, quelquefois pendant très-longtemps, sans

nouvel accident. Un ouvrier adroit peut souvent opérer ce raccommodage en place, par l'intérieur du foyer, sans démonter les tubes. La fente se trouve donc fermée, sans augmenter en dehors l'épaisseur du métal. On emploie des vis de cuivre au lieu de vis de fer, parce que le cuivre est plus doux, pénètre mieux; quand il est mâté, dans le métal taraudé, et ferme plus exactement la fente.

26. *Accidents des bouilleurs de tôle.* Outre les brûlures qu'elles éprouvent au coup de feu, quelquefois les tôles employées ont un défaut, qui se manifeste en chauffant; on le reconnaît, à ce signe, que la tôle s'effeuille alors sur un point circulaire, au lieu d'être brûlée sur une plus large surface, et bouillonnée comme un métal qui a été rougi au feu.

Telles sont les principales causes de rupture ou de déchirure des tubes bouilleurs, auxquelles il faut ajouter les dégradations de la maçonnerie des fourneaux, qui y établissent des courants d'air mal dirigés, et chauffent des parties sur lesquelles le feu ne doit pas agir.

27. *Réparations des bouilleurs et chaudières de tôle ou de cuivre.* Les réparations à faire aux bouilleurs de tôle ou de cuivre, quand ils sont démontés et hors du fourneau, ne présentent pas de grandes difficultés. La seule condition importante à observer, est d'enlever largement toute la partie brûlée, ou seulement fatiguée, et au besoin la feuille de tôle entière, surtout si l'accident est arrivé à l'endroit du coup de feu. En conservant une portion de tôle brûlée et aigre, on s'exposerait à la voir se fendre en rivant la pièce, ou par les dilatations que produit le coup de feu.

Il faut aussi avoir soin de ne jamais laisser la vieille tôle brûlée sous la neuve, car cette dernière, n'étant pas en contact immédiat avec l'eau de la chaudière, rougirait et brûlerait promptement.

Il est facile, et avantageux même, quand le travail

presse, ou que l'accident n'est pas grave, et que l'on peut atteindre le point malade, de mettre une pièce au bouilleur sans le démonter.

Pour cela, on coupe carrément au burin la partie brûlée; on met la pièce en dedans, et, perçant la pièce et la tôle du bouilleur, on les mastique ensemble, avec du mastic de fonte en pâte molle, et on les serre avec des boulons. C'est aussi une mauvaise méthode que de laisser la vieille tôle en dehors, sans la couper; elle brûle, se tord, détache et ouvre le masticage, et occasionne inévitablement de nouvelles fuites.

28. *Moyens d'arrêter, en marchant, de légères fuites.* Souvent les tubes et chaudières de tôle ou de cuivre, présentent de légères fuites dans les assemblages des feuilles, et dans les rivures; le meilleur moyen de les arrêter, si on ne peut pas les empêcher par un mâtage sans démonter le fourneau, est de faire bouillir dans l'eau de la chaudière vingt ou vingt-cinq litres de son gras, auxquels on ajoute une petite quantité de chaux; l'amidon qui se délaie alors, forme avec la chaux un mastic que l'eau dépose dans les joints, à mesure que le feu la met en vapeur, de sorte que tout écoulement s'arrête: ce moyen réussit même fort bien avec des brûlures ou fentes qui sont importantes. Il est nécessaire ensuite de vider et nettoyer la chaudière avec soin, parce que le son resté en dépôt avec la chaux, s'attacherait à la chaudière, et la ferait promptement brûler.

29. *Changements des bouilleurs.*—En prenant d'avance toutes les précautions que nous allons indiquer; pour opérer avec promptitude et facilité le changement d'un bouilleur déchiré ou brûlé, et ayant soin d'en tenir toujours deux en réserve, on peut, sans grand inconvénient, se dispenser d'avoir deux chaudières. Le nettoyage complet d'une chaudière ne demande que douze ou quinze heures, et le renouvellement d'un bouilleur bien disposé, se peut faire entre le samedi soir et le

lundi matin. Avec des bouilleurs en bonne tôle, suffisamment grands, et un bon chauffeur, ce renouvellement est très-rare : d'ailleurs le nettoyage des chaudières, quand on n'attend pas au dernier moment, peut s'opérer pendant un jour de chômage naturel, sans arrêter en rien les travaux d'atelier, et préserver les bouilleurs de tout accident.

30. On doit toujours élever au-dessus des bouilleurs, devant et derrière le fourneau, une voûte en briques *VV* (*Pl. 1, fig. 1 et 3*), que l'on ferme ensuite, quand les bouilleurs sont placés et mastiqués ; pour les renouveler, on n'est plus alors obligé de démolir toute la maçonnerie ; il suffit d'ouvrir ces deux cintres. Le fourneau se trouve à jour, et les bouilleurs dégagés des deux côtés et faciles à enlever. On retire le support de fer *b* et la plaque de fonte *c* qui soutiennent le tube, et on le fait porter sur des leviers ou sur des crics, qui lui permettront de descendre, quand il sera démastiqué. Si on négligeait de donner un appui à la queue du bouilleur, avant de le démastiquer, il serait exposé à se briser dans le collet. En même temps on place au-dessous deux petits rouleaux de bois, afin de pouvoir sortir le tube facilement, ce qui se fait beaucoup mieux par le derrière, que par le devant du fourneau. On voit que, pour la facilité de ce travail, il ne faut pas oublier de se réserver à l'arrière, un espace aussi long que le bouilleur, dans lequel on puisse le manœuvrer librement : ou une fosse voûtée ou recouverte en madriers, si le fourneau est enfoncé en terre. Si la disposition des lieux ne permettait pas de réserver cet espace vide sur le derrière, il faudrait au moins le conserver sur un des côtés, afin de rendre l'opération moins difficile, et y pratiquer une voûte pareille à celle dont nous venons de parler.

31. On procède alors au démastiqué du bouilleur, ce qui s'opère par l'intérieur de la chaudière au moyen de burins d'acier fondu. Si le mastic résistait trop fortement, et que

l'espace qu'il remplit fût trop étroit pour y engager un burin, défaut qui rend souvent cette opération très-longue, il faudrait le couvrir d'un mélange d'acide sulfurique et d'acide nitrique étendus d'une petite quantité d'eau : le sulfure de fer, qui compose le mastic, est fortement attaqué par ces acides que l'on renouvelle de temps en temps, et en enlevant avec un outil tout ce qui est attaqué, on parvient à le détacher entièrement. On dégage ainsi le collet *e*, du tube qui descend sur les leviers, ou sur un cric, et au moyen de rouleaux, on le fait sortir par le derrière du fourneau. On y replace le nouveau tube de la même manière, en engageant la tubulure la première. Quand elle est arrivée au-dessous de celle de la chaudière, on relève la tête du bouilleur avec un cric, on replace la plaque de fonte *e* et le support *B*; on met le collet *b* exactement au milieu de la tubulure de la chaudière, on mastique le tout, et on ferme le fourneau. Remarquons que les ouvertures *IV*, dont nous venons de parler, sont également utiles pour opérer le nettoyage complet du fourneau et de ses carneaux.

DIMENSIONS DES CHAUDIÈRES A VAPEUR.

32. *Quantité de vapeur que fournissent les diverses chaudières.* Quand la forme des chaudières est ainsi déterminée, il est encore nécessaire de connaître leur produit en vapeur, et par conséquent les dimensions qu'il faut leur donner.

Ce produit varie inévitablement avec la forme des chaudières, la nature et l'épaisseur du métal, et aussi avec le mode de construction du fourneau; mais en supposant le fourneau construit suivant les principes que nous tracerons plus loin, ce qu'il importe de trouver ici, ce sont des *données moyennes, résultat d'expériences comparées*, qui servent à proportionner les chaudières aux besoins qu'elles sont appe-

lées à desservir, suivant la nature du métal, son épaisseur et la forme de l'appareil.

33. *Principes des ingénieurs anglais.* Plusieurs ingénieurs anglais prennent pour élément de détermination d'une chaudière, dont le pouvoir est donné d'avance, le cube de cette chaudière. C'est une erreur grave : pour produire en une heure une certaine quantité de vapeur, il faut brûler une certaine quantité de combustible, et il faut que la surface de la chaudière soit suffisante, pour absorber et transmettre à l'eau la plus grande portion possible de la chaleur totale dégagée par ce combustible. C'est donc la surface du générateur qui détermine sa puissance, et lui sert de mesure. Toutefois Armstrong dans son traité des générateurs, fait entrer la surface extérieure en même temps que le cube dans le calcul des dimensions des générateurs. Mais avec les dimensions extérieures et les formes que nous donnons, la capacité sera toujours largement suffisante.

34. *Influence de la nature du métal.* La fonte est de tous les métaux employés dans l'industrie, celui qui laisse passer le plus facilement la chaleur. Cependant les expériences de Tredgold et de Clément Desormes, prouvent que la fonte, la tôlerouillée et le cuivre noirci, laissent passer à peu près la même quantité de chaleur en un temps donné, le cuivre étant au dernier rang. Or, dans les fourneaux, la surface extérieure des générateurs, est constamment revêtue d'une couche de suie et d'oxide, qui tend à égaliser encore les effets, et on peut, sans crainte d'erreur, considérer, sous le rapport de la construction des générateurs, la nature du métal comme sans influence sensible sur la production de la vapeur.

35. *Influence de l'épaisseur du métal.* L'épaisseur du métal, par les raisons plus haut déduites, change peu le produit en vapeur d'une chaudière. En principe plus le métal sera épais, et plus le passage de la chaleur sera difficile; et moins l'effet

utile du combustible sera avantageux. Il y a encore un intérêt puissant à employer des métaux minces, parce que plus ils sont épais, plus ils sont disposés à être brûlés. La surface extérieure a en effet besoin de recevoir alors une température beaucoup plus élevée, pour donner à la surface intérieure et à l'eau qui la mouille, la température voulue. Ceci est constant et reconnu par beaucoup de praticiens : M. L. Say, de Nantes, nous a affirmé avoir employé, sans réparations, pendant de longues années, une chaudière en cuivre, remarquablement mince, tandis que dans le même espace de temps il en avait brûlé d'autres fort épaisses. Le métal mince se tourmente aussi beaucoup moins sous l'action du feu ; les chaudières d'évaporation des eaux salées à Dieuze et partout, sont aujourd'hui construites avec des tôles de 2 ou 2 1/2 millimètres d'épaisseur, au lieu de 8 ou 10 qu'on leur donnait précédemment, et elles se déforment ou se brûlent beaucoup moins vite.

On voit qu'il y a aussi économie notable à réduire l'épaisseur du métal employé. Mais d'un autre côté, quand il s'agit de chaudières qui doivent supporter des pressions intérieures, il faut se rappeler que le métal perd de sa ténacité en s'échauffant. Son épaisseur doit donc être calculée, de manière à résister non seulement à la pression régulière, mais encore aux pressions extraordinaires, et aux secousses imprévues qui se peuvent présenter, et avoir un large excès de force ; pour en conserver encore après un service de plusieurs années, et dans le cas d'usure.

36. *Épaisseurs légales des générateurs.* Une ordonnance royale, en date des 25 mai et 12 juillet 1828, fixe la formule d'après laquelle ces épaisseurs doivent être calculées pour tous diamètres et toutes pressions. On a fait entrer dans cette formule un nombre qui correspond à une augmentation constante de 3 millimètres dans l'épaisseur, destinée à couvrir les chances probables d'usure. Cette formule donne des épais-

seurs six ou huit fois plus grandes que celles calculées par les formules rigoureuses, qui donnent le minimum, et dont cependant l'exactitude a été vérifiée par les expériences de M. Navier. Les chaudières de cuivre sont dans ce tableau, assimilées complètement à celles de tôle; nous donnons, à la fin de cet ouvrage, la table officielle de ces épaisseurs, jusqu'à 1 m. de diamètre, et 8 atmosphères de pression. Pour la fonte, l'épaisseur adoptée avec les pressions de 3 à 5 atm. est de 30 à 35 millimètres.

37. *Influence de la forme des chaudières.* La forme des chaudières exerce sur les produits de la vaporisation une très-grande influence. Les expériences que nous avons citées plus haut, prouvent qu'une surface de tuyau vertical, refroidie par l'air, condense plus de vapeur en un temps donné, que la même surface horizontalement placée. Ceci se conçoit sans peine. Dans le premier cas, le courant d'air, en montant, reste en contact permanent avec toute la surface métallique; dans le second cas, le courant n'enveloppe complètement que la moitié inférieure du tuyau, qui est positivement la moins élevée en température. La moitié supérieure du tuyau cylindrique, plus fortement chauffée par la vapeur intérieure, défendue des deux côtés par deux courants latéraux, ne peut agir que sur une portion d'air roulant sur-lui-même, et dont les mouvements sont toujours contrariés.

38. Mais, dans le chauffage des chaudières placées sur des fourneaux, les conditions et les résultats sont différents. Ici le refroidissement n'est pas opéré extérieurement par de l'air; mais intérieurement par de l'eau: l'échauffement n'est pas opéré par de la vapeur qui agit latéralement et par dessous, mais par un courant d'air qui est beaucoup plus chaud dans sa partie supérieure: et presque toujours cette partie supérieure, porte moitié au moins de son action sur un carneau de brique, ce qui, pour les surfaces verticales, est une

condition très-désavantageuse. Les surfaces horizontales, au contraire, sont dans les meilleures conditions possibles pour utiliser toute la chaleur d'un courant d'air chaud : car, les tranches d'air le plus élevées en température, sont toujours en haut, c'est-à-dire en contact avec la surface refroidissante, et elles agissent toujours sur les couches d'eau inférieures, c'est-à-dire les moins chaudes. Ainsi, dans un fourneau, toutes conditions égales, les surfaces horizontales produisent plus de vapeur que les surfaces verticales. Nous concluons de là : *Le produit en vapeur d'une surface donnée varie avec la forme de la chaudière, et les chaudières à fond plat sont plus favorables au passage de la vapeur, et à la bonne utilisation du combustible, que les chaudières cylindriques de toute forme.*

39. Enfin les bouilleurs, à surface égale, donnent, sous ce rapport, des résultats supérieurs aux chaudières de grand diamètre. Par leur moindre diamètre, ils reçoivent bien moins obliquement l'action du feu que les chaudières cylindriques sans bouilleurs, dont les parties latérales se présentent presque verticalement et de beaucoup plus loin, à l'action du rayonnement et du courant de flamme et de l'unice.

40. 1^{re} Chaudières à fond plat ou légèrement concave. (Pl. 2, fig. 3 et 5) 1 mètre carré du fond d'une chaudière de cette forme, au-dessus de 8 chevaux, et exposé directement au feu, produit 70 ou 75 k. de vapeur par heure. Quand la surface directement chauffée est suffisamment grande, l'action des carneaux n'est pas importante. Toutefois, dans le calcul d'une chaudière de ce genre, et qui n'aurait pas de carneaux, il ne faudrait pas compter sur un produit supérieur à 50 ou 60 k., parce que, en général, il faut toujours calculer largement les dimensions et la force des outils ; ils travaillent mieux, plus longtemps, et le combustible est mieux utilisé.

41. Si la chaudière a des carneaux, et que l'on calcule la surface totale de chauffe, composée de la surface directement

exposée au feu, et de la surface indirectement chauffée dans les carneaux, il ne faut pas compter sur plus de 40 k. par mètre carré de *chauffé totale*. On verra plus loin que, pour s'assurer de bons résultats, la surface directe doit égaler au moins 60 0/0 de la surface totale. M. d'Arcet, dans les diverses séries d'observations qu'il a faites sur les chaudières à vapeur, et de concentration, est arrivé à ce résultat, qu'avec 1 mètre carré de surface de chauffe directe, toutes les fois que l'on peut employer un bon tirage, la proportion la plus avantageuse de houille à brûler est de 15 à 16 k. correspondant à un minimum de production de 75 à 80 k. de vapeur, comme nous venons de le dire.

42. *Chaudières cylindriques à bouilleurs.* (Pl: 1.) Le rapport adopté par la plupart des constructeurs, pour déterminer les dimensions des chaudières destinées aux machines à moyenne et à haute pression, est de 1 mètre carré par cheval. C'est ainsi que l'on a adopté, pour *désigner*, dans les ateliers, la force et la dimension d'une chaudière, l'expression de chaudière de 16, chaudière de 25 chevaux; il faut toujours entendre par là, chaudière de 16, chaudière de 25 mètres carrés de surface de chauffe. Farey, dans son *Traité des machines à vapeur*, donne 1 m. 30., pour les machines de Watt, ce qui est d'accord avec le premier résultat, car la consommation des machines de Watt est, au minimum, de 6 k., et par conséquent de 25 0/0 plus considérable que celle des machines à haute pression sans condensation. La consommation des machines à haute pression et à condensation, est de 3 k. de houille par heure. Celle des machines sans condensateur, de 4 à 5 k., avec une production de 5 k. de vapeur pour 1 de houille. Les constructeurs calculent donc sur une production de 25 k. de vapeur, au maximum, par chaque mètre carré de chauffe totale. Armstrong a adopté des dimensions inférieures à celle de Farey. Il donne aux générateurs de toutes formes 1 yard carré

de surface de chauffe par cheval, correspondant à 0 m. c. 82, ce qui est trop faible. Il compte aussi 1 yard cube de capacité de chaudière par cheval, ou 0 m. cc. 75.

43. *Danger des dimensions trop faibles.* Si les fourneaux étaient toujours en bon état, la houille de bonne qualité, et les chaudières propres à l'intérieur et à l'extérieur, ces proportions répondraient à tous les besoins. Mais le fourneau et la chaudière s'encrassent, un temps pluvieux diminue le tirage, et l'activité comme la puissance de la combustion. La houille est inférieure, la machine fatiguée, dérangée, consomme plus de vapeur; un travail extraordinaire, ou l'augmentation de l'atelier, réclament un excès de puissance: la production reste alors en arrière, ou du moins, pour la maintenir au niveau des besoins, on demande à la chaudière le maximum de ce qu'elle peut produire, on la fatigue, on l'altère promptement, et enfin on augmente inévitablement la consommation proportionnelle de combustible.

Il y a des circonstances dans lesquelles l'insuffisance des dimensions d'un générateur, peut être beaucoup plus dangereuse encore, et causer une explosion. Celle du bateau à vapeur qui, sur le Rhône, a fait périr plusieurs personnes, et entre autres l'ingénieur Steele, est évidemment due à cette cause. Si le générateur ne peut suffire à vaincre un obstacle, ou à accomplir un travail urgent, indispensable, on fait ce que les chauffeurs appellent un *feu à mort*, et de là résultent des explosions ou des accidents graves. La surveillance des ingénieurs de l'administration, prévient aujourd'hui ces excès autrefois très-fréquents; mais le moyen le plus sûr de les éviter, est d'avoir des appareils d'une puissance suffisante pour tous les besoins possibles: car le danger n'est pas dans l'excès de puissance, il est au contraire dans le manque de force. Tout mécanicien et tout chauffeur expérimentés le diront hautement.

44. *Proportions à adopter pour les générateurs.* Ainsi nous

adoptons avec sécurité la proportion d'un mètre carré de chauffe pour le service des machines à moyenne pression et à condensation, dont la consommation n'est que de 5 k. par heure; mais pour les machines à haute pression, où cette consommation, qui ne doit être que de 4 k., peut néanmoins s'élever à 5 k., nous sommes convaincus qu'il faut prendre le rapport de 1 m. c. 30 adopté par M. J.-F. Saulnier. Ce constructeur, aussi prévoyant et consciencieux qu'il est habile, réduit ainsi à 20 k. au plus, la production normale de vapeur qu'il demande à ses générateurs. La dépense un peu plus grande d'établissement, influe cependant peu sur le prix de ses machines.

45. Mais quand un manufacturier éclairé devrait payer entièrement ce supplément, quels avantages permanents et quels bénéfices il y trouverait ! Le chauffeur éprouve moins de fatigue pour soutenir son feu, et il peut donner ses soins à la manière de le conduire avec économie. La machine puisant de la vapeur à une source qui ne tarit pas, marche franchement à sa bonne vitesse, et n'éprouve jamais ni ralentissement ni retard ; et M. Saulnier a bien compris, que ces avantages si importants pour le manufacturier, l'étaient autant pour le constructeur qui, lorsqu'il a fourni un bon et puissant outil, a tout intérêt à le voir utiliser à un travail supérieur à celui qui a été garanti, au lieu de le voir, comme cela a lieu si souvent, souffrir de la rareté de la vapeur. De son côté, le manufacturier trouve là, en outre d'une économie de combustible, des ressources précieuses pour une augmentation dans le travail de ses ateliers, ou même pour en opérer le chauffage.

Le rapport de 1 m. c. 30 de chauffe totale par cheval, répond à tous ces besoins.

46. Quant aux machines à basse pression, la quantité de vapeur produite par 1 k. de houille est de 6 k. au moins, au lieu de 5 que donnent les chaudières à haute pression : aussi la pro-

portion de 1 m. c. 30 est bonne ; mais mieux vaudrait la porter à 1 m. 40 que de la réduire. N'oublions jamais qu'il faut toujours se tenir au-dessous de ce qu'un outil, quel qu'il soit, peut donner de travail.

47. *Du rapport entre la surface directe et la surface indirecte de chauffe.* Il est cependant nécessaire, aussi bien pour la production de la vapeur, que pour la construction des chaudières d'évaporation, de savoir avec exactitude quelle est la production de vapeur qui, avec une surface et une quantité de combustible déterminées, donne l'effet utile le plus avantageux, et, par conséquent, ce que l'on peut sans inconvénient exiger d'une chaudière. Enfin il faut savoir quel est le meilleur rapport à établir entre la surface de chauffe exposée directement à l'action du feu, et celle qui ne reçoit cette action qu'indirectement dans les carnaux, c'est-à-dire *entre la surface directe et la surface totale de chauffe.*

La première question seule a déjà été examinée avec soin. Cependant les constructeurs, guidés par la pratique, ont compris depuis quelques années que la surface des bouilleurs c'est-à-dire la surface de *chauffe directe*, était trop faible, et dès lors leurs chaudières ont été mieux proportionnées. Nous puiserons la solution précise de ces deux questions dans le beau travail de MM. Gros-Davillier, Roman, et comp. de Wesseling.

48. En comparant entre eux les plus mauvais et les meilleurs résultats qu'ils aient obtenus, et mettant de côté l'influence du fourneau qui, dans leur travail, n'a pas été très-considérable sous le rapport du rendement en vapeur, on trouve que la chaudière marquée C, sous laquelle on brûlait 7 k. 40 de houille par mètre carré de chauffe totale par heure, et où la surface directe était seulement égale à 31 0/0 de la surface totale de chauffe, on trouve que le produit en vapeur n'a été que de 4 k. 93 pour 1 k. de houille.

D'un autre côté, la chaudière *E.* (*pl.* 10, *fig.* 14), allongée et augmentée considérablement, où la consommation de houille a été réduite à 4 k. 60 par mètre carré, et le rapport de la surface directe à la surface totale élevé à 65 0/0, le produit en vapeur a monté, sur la moyenne de onze jours de travail, à 6 k. 27. Si nous adoptons pour règle les proportions de cette chaudière, nous trouverons que le rapport entre la surface directe et la surface totale, est de 60 à 65 0/0, que la production moyenne de vapeur est de 29 k. 50 par mètre carré, ou de 50 k. en ne comptant que la surface directe.

49. Nous admettons donc, comme prouvé, qu'un générateur à basse pression, bien proportionné, doit avoir au moins 60 0/0 de sa surface de chauffe, directement exposée au feu, et qu'il peut produire 30 k. de vapeur par mètre carré à l'heure, en donnant un effet utile de 6 k. 27; résultat très-avantageux. Plusieurs chaudières en tôle à haute pression que nous avons montées, nous ont donné de 5 k. 40 à 5 k. 50 d'effet utile.

La chaudière de M. J. Saulnier, dont nous avons déjà parlé, et qui est montée à la filature de lin de Gerville (Seine-Inférieure), est calculée à raison de 5 k. de houille par mètre carré, et le rapport de la surface directe à la surface totale est 57 0/0. Ce sont de bonnes proportions qui, avec un fourneau bien disposé, ne peuvent manquer de donner de bons résultats.

50. *Du peu de produit des carneaux.* La chaudière *C* qui a donné à Wessérling de si faibles résultats, a donc trop peu de surface totale et de surface directe de chauffe. Dans une chaudière bien proportionnée, la presque totalité de l'effet utile se produit sur la surface directe, et le reste dans le premier carneau. Au bas de la cheminée, la fumée quitte la chaudière après la seconde révolution, avec une température qui varie de 350 à 500° centigrades; il est ainsi facile de se rendre compte du faible effet utile de la surface chauffée par les carneaux.

Supposons que la température moyenne du courant d'air, qui traverse les carneaux soit de 500° . Celle d'un foyer où la combustion est active est de $2,000^{\circ}$ environ. Et la température de la vapeur à trois atmosphères, comme on l'emploie ordinairement dans les machines à moyenne pression, est de 138° . Ainsi la différence de température du foyer à l'eau de la chaudière est de 1862° , et la différence entre la fumée à la sortie des carneaux, et l'eau de la chaudière, est seulement de 362° , ou cinq fois moins grande.

Or, la quantité de chalcure qui passe à travers une surface donnée, est à peu près proportionnelle à la différence de température des deux milieux : donc le travail de chaque mètre carré de chaudière dans les carneaux, sera cinq fois moindre que sous l'action directe du feu : et comme la surface de chauffe des carneaux est verticale, tandis que la surface directe est horizontale, et que d'ailleurs le rayonnement disperse en outre un tiers de la chaleur totale, dégagée par le combustible, on conçoit que le produit des carneaux, ne doit pas s'élever au-dessus d'un septième ou un huitième du produit de la surface directe ; c'est-à-dire que, si moyennement 1 m. c. de surface directe donne 40 à 45 k. de vapeur à l'heure, 1 m. c. de chauffe indirecte, donnera 5 ou 6 k. de vapeur. Ce chiffre ne doit pas s'éloigner beaucoup de la vérité, car il s'applique ici aux résultats de la chaudière *E*, dont nous avons parlé plus haut, et donne pour le produit total 28 à 30 k. Il est aussi parfaitement d'accord avec une expérience de M. Péclot, qui, en faisant circuler sous 1 m. c. de cuivre, c'est-à-dire sous une surface horizontale, un courant d'air à 500° a obtenu 9 k. de vapeur. M. Péclot n'aurait certainement obtenu que 5 ou 6 k., s'il avait fait circuler cet air chaud contre une surface verticale et latérale.

51. Il est facile toutefois de prévoir, que si la surface directe est trop petite par rapport à la surface totale, elle ne peut

absorber qu'une moindre portion de la chaleur émise ; la flamme alors pénètre encore puissante dans le premier carneau, qui devient une espèce de prolongement de la surface directe. Si cette surface directe et la surface totale, sont trop faibles par rapport à la quantité de combustible à brûler, chaque mètre carré de chauffe est obligé de recevoir et de transmettre une quantité beaucoup plus grande de chaleur, et, dans les deux cas, l'effet utile du combustible se trouve notablement réduit. Mais le défaut de surface directe, suffisante pour absorber la majeure partie de la chaleur développée par le foyer sous une surface horizontale, présente aussi un danger réel, c'est que la flamme trop intense encore, en pénétrant dans les carnaux, brûle très-souvent le métal de la paroi verticale, surtout à l'endroit où l'angle du carneau la renvoie sur la chaudière, et y darde comme un jet de chalumeau.

52. *Deux chaudières de Wesserling.* Voici, comme exemple, l'application de ces principes aux deux chaudières de Wesserling, 1^{re} chaudière à trois bouilleurs bien proportionnée :

Houille.	4 kil. 67	} par mètre carré de chauffe.
Vapeur à l'heure.	29 kil. 50	
Vapeur totale en une heure. 587 kil.		

Surface directe.	18 m. c. 40	à	44 kil.	799 kil.
Surface indirecte.	11	50	6	69
Vapeur totale.				868 kil.

2^e Chaudière mal proportionnée :

Houille.	7 kil. 48	} par mètre carré de chauffe.
Vapeur.	35 kil. 50	
Vapeur totale. 617 kil. par heure.		

Surface directe	5 m. c. 40	à	60 kil.	324 kil.
Surface du 1 ^{er} carneau.	6	"	40	240.
Surface du 2 ^e carneau.	6	"	8	48
Vapeur totale.				612 kil.

53. *Rapports à adopter.* Le comité de la Société de Mulhouse, a fixé de 30 à 35 k. la production la plus avantageuse de vapeur par mètre carré de chauffe. — Pour nous, en résumé, nous conseillons aux constructeurs de *ne jamais compter sur plus de 5 k. de houille brûlée, par mètre carré de chauffe totale pour produire 25 à 30 k. de vapeur par heure : et de ne pas laisser la surface directe au-dessous de 60 à 65 0/0 de la surface de chauffe.*

54. *Produit des générateurs sur les steamers.* Pour ce qui concerne les générateurs de steamers et de locomotives, comme la chaudière elle-même constitue le fourneau, nous renverrons tous les détails aux articles spéciaux qui traiteront de ces appareils.

Cependant, pour compléter les faits relatifs à la quantité de vapeur produite par les diverses chaudières, nous donnerons simplement ici les résultats qui suivent : dans une chaudière de steamer, où la surface n'est pas ménagée comme dans les locomotives, la production moyenne de vapeur est de 33 à 35 k. par mètre carré de chauffe, et la consommation de houille de 6 à 7 k. La disposition des appareils ne permet pas de distinguer nettement la surface directe, mais elle est considérable.

55. *Produit des générateurs de locomotives.* Dans les locomotives, la consommation de coke est de 8 à 10 k., et la production moyennée de vapeur de 45 à 50 k. par mètre carré de chauffe totale ; et ce qui confirme les conclusions auxquelles nous sommes arrivés plus haut, sur le rapport des produits des surfaces directes et indirectes, c'est qu'une expérience de Robert Stephenson, a donné pour l'unité de surface directe qui reçoit l'action du rayonnement, trois fois plus de vaporisation que pour l'unité de surface indirecte des tubes. Ainsi le produit de la surface directe s'élève à 120 k., et celui de la surface indirecte du tube, qui reçoit aussi toute l'action de la

flamme, et par conséquent est chauffée aussi fortement que le fond d'une chaudière ordinaire, n'est que de 40 k.

56. *Du plus grand produit que puisse donner une surface de chaudière.* Le produit de 120 k. au mètre carré, constaté à peu de chose près dans des expériences directement faites sur 12 locomotives par M. Guyonneau de Pambour, est le maximum de produit au mètre carré que l'on connaisse. Et même les expériences de Christian, répétées par M. Clémene Désormes, n'avaient donné que 100 k. de vapeur pour le maximum de puissance vaporisante d'un mètre carré sous le feu le plus violent.

57. *Rapport de la surface de chauffe à la surface totale.* Il est maintenant nécessaire de dire qu'en général, afin d'obtenir un magasinage suffisant de vapeur, on donne à la surface de chauffe environ les $\frac{3}{5}$ de la surface totale de la chaudière. Enfin, la manière de calculer la surface de chauffe dépend en réalité de la construction du fourneau ; mais le mode que nous avons adopté dans nos travaux consiste à compter comme surface de chauffe, les $\frac{2}{3}$ de la surface des bouilleurs, et la moitié de la surface de la chaudière, plus les calottes entières. C'est qu'en effet la partie supérieure des bouilleurs, même quand elle est comprise dans le foyer, est bien vite couverte de cendres, et ne sert pas au chauffage.

Cette proportion donne toute sécurité aux manufacturiers, et nous désirons qu'elle serve de règle aux mécaniciens. Avec ces données, auxquelles les constructeurs et les manufacturiers peuvent avoir pleine confiance, il sera facile de déterminer les dimensions d'une chaudière destinée à produire un effet demandé, quel que soit le service auquel elle sera appelée, et l'on pourra d'avance fixer ses produits et sa consommation ; et réciproquement il sera facile à un manufacturier, de vérifier si les appareils qu'il emploie, sont bien proportionnés ou peuvent sans inconvénient faire face à un accroisse-

ment de travail, et si les chaudières qu'on lui fournit remplissent les conditions nécessaires à une bonne marche.

Ainsi, par exemple, la chaudière de 30 chevaux de M. J.-F. Sauhier, dont j'ai déjà parlé, a 1 m. diamètre, 8 m. 30 longueur totale.

Ses deux bouilleurs ont : longueur, 9 m. 80
diamètre, c 54

Nous avons donc :

Surface totale de la chaudière, 28 m. c., dont 50 p. cent en surface indirecte de chauffe. 14 m. c.

Surface totale des bouilleurs, 33 m. c. 3, dont 75 p. cent en surface directe de chauffe. 25

Surface totale de chauffe pour 30 chevaux, à 1 m. c. 30 de surface par cheval. 39 m.

59. *Choix du métal.* Comme nous l'avons dit, le système des chaudières de fonte est complètement abandonné par les constructeurs. Il en existe encore un assez grand nombre qui fonctionnent très-avantageusement avec des bouilleurs de tôle ou de cuivre; mais toutes les chaudières que l'on construit aujourd'hui sont faites en cuivre, et bien plus généralement en tôle de fer.

60. *Chaudières en cuivre, à bouilleurs.* Ces chaudières ont trois qualités remarquables; elles durent incomparablement plus longtemps que celles de tôle. En cas d'accident par excès de pression, souvent même subite, elles se déchirent au lieu de rompre et de faire explosion, parce que le métal est beaucoup plus tendre; sans prétendre pour cela qu'avec les chaudières de cuivre les explosions soient impossibles, ce qui serait faux, mais les chances en sont moindres. Enfin, quand elles sont hors de service elles conservent encore 60 p. 0/0 environ de leur valeur primitive, tandis que la vieille tôle perd 90 p. 0/0.

D'un autre côté elles coûtent beaucoup plus cher d'achat, et la moindre raideur du métal, ne permet de les employer qu'avec les formes qui résistent le mieux aux pressions intérieures, mais surtout aux pressions extérieures quand le vide s'y produit.

61. *Des deux chaudières du palais de l'Institut.* L'un de nous (1) a monté pour le service du chauffage à vapeur du palais de l'Institut, deux chaudières parfaitement semblables, de la forme dite en tombeau, à fond légèrement concave, l'une en tôle; l'autre en cuivre. Toutes deux ont alternativement fonctionné depuis cinq ans sans accident ni réparation. Le chauffeur n'a jamais pu reconnaître une différence appréciable entre leur service, soit pour la facilité de chauffage, soit pour la production de vapeur, soit pour la consommation de combustible, soit pour l'entretien. Il est arrivé seulement qu'une augmentation de pression momentanée, qui n'a pas même pu s'élever au-dessus de $1/2$ atmosphère, a fait gonfler en dehors, à l'endroit du coup de feu, et rendu légèrement convexe, le fond concave de la chaudière de cuivre. Depuis quatre ans que cette chaudière a pris ainsi une forme plus résistante, sans demander d'autres réparations que le mâtage d'un joint que ce mouvement avait légèrement ouvert, elle a continué son service comme précédemment.

Les chaudières de cuivre surtout à haute pression, sont assez fortement attaquées par le soufre que contient la houille. Cet accident peut être grave, parce que le cuivre trop chauffé s'altérerait et deviendrait cassant, si on négligeait de nettoyer la chaudière, et qu'on y laissât amasser des dépôts terreux.

62. *Meilleure forme des chaudières de cuivre.* Ainsi, on doit, autant que possible, quand on emploie le cuivre, donner aux

(1) M. Grouvelle.

chaudières la forme cylindrique, et des *bouilleurs* dont le diamètre plus petit est plus favorable à la résistance; mais quand le service auquel elles sont destinées exige, que l'on emploie ce métal avec des formes non cylindriques, comme dans certains établissements de produits chimiques, qui peuvent manger la tôle, comme sur les locomotives, et quelquefois les steamers, il faut avoir soin de consolider les parois par des tirants et des boulons.

63. *Des chaudières de tôle.* Bien que la tôle s'effeuille et brûle assez facilement au feu, et que quelquefois des défauts s'y découvrent, les chaudières de tôle sont d'un excellent usage; aujourd'hui surtout les bons constructeurs n'emploient que des tôles provenant de fers affinés au charbon de bois, et de grande largeur. Ces chaudières sont exécutées avec beaucoup de soin et très-solides; et en définitive, l'économie qu'elles présentent comme prix d'achat, en tenant compte des intérêts, compense largement la perte supérieure qu'elles donnent à la revente (1).

64. *Comparaison du prix des chaudières de cuivre et de tôle.* En effet, une chaudière à bouilleurs de 16 chevaux, en tôle, timbrée à 4 atmosphères, pèse environ 2800 k. soit à 1 fr. 40 c. 3,920 fr. Supposons-la renouvelée deux fois en vingt ans, ce qui est trop, car avec des nettoyages convenables, l'usure est presque nulle, et s'il arrive un accident, c'est aux bouilleurs, dont on enlève, et remplace les feuilles brûlées.

Intérêt de 10 ans à 6 p. cent.	2,332 fr.
Coût de la chaudière au bout de dix ans.	6,272 fr.
Prix de vente à 10 fr. 70 c. le kil.	448
Perte en dix ans.	5,820 fr.

(1) En Angleterre les rivures se font aujourd'hui avec une machine inventée par MM. Fairbairn.

La même chaudière avec même épaisseur, en cuivre, pesera	3,000 k. à 4 fr.	12,000 fr.
Intérêts sur 20 ans, à 6 p. cent.		14,400
Coût de la chaudière après 20 ans.		26,400 fr.
Prix de vente, 60 p. cent.		7,200
Perte en 20 ans.		19,200 fr.
Perte sur la chaudière de tôle en la supposant même renouvelée totalement deux fois en 20 ans.		11,610 fr.

Ainsi, à moins de nécessité imposée par les besoins de l'établissement, il faut toujours adopter les chaudières de tôle qui sont d'un excellent service.

DES FOURNEAUX.

65. *Nécessité de bons fourneaux.* Ce n'est pas tout pour obtenir de bons résultats, que d'avoir donné à un générateur des dimensions et des proportions convenables : il faut encore y appliquer l'action du combustible qui brûle, de manière à remplir toutes les conditions nécessaires au travail que l'on veut faire, et en même temps à réaliser le plus grand effet utile du combustible employé. Cependant bien des mécaniciens, qui étudient consciencieusement le système, les dispositions et l'exécution de leurs machines, abandonnent encore aux chaudronniers la construction de la chaudière, et à leur monteur ou à un fumiste entêté et routinier celle du fourneau. Bien des manufacturiers s'en rapportent complètement à un *maçon*, souvent homme d'intelligence et de pratique, mais à qui l'absence de connaissances théoriques et d'une expérience variée, ne permet pas de juger et d'appliquer sans tâtonnements, les dispositions bien différentes qui conviennent à

chaque circonstance: et cependant, sans un bon fourneau, il n'y a pas de bonne machine à vapeur. Or, quel que soit le service auquel s'applique l'action du feu, évaporation, distillation ou calcination, si le fourneau est défectueux, le travail est mal fait, traîné en longueur, les produits détériorés, et la consommation de combustible quelquefois doublée.

66. *Progrès de la science des fourneaux.* Lorsque nous avons publié la première édition de cet ouvrage, la Société de Mulhouse, appelait l'attention de ses membres sur cette importante question, et en science *manufacturière*, l'Alsace a toujours marché la première. M. Pécelet venait de publier son *Traité de la chaleur*, qui aujourd'hui encore est le seul de ce genre que nous possédions, mais inconnu alors, surtout dans les ateliers. Quelques fabriques de produits chimiques soumettaient leurs fourneaux à de bonnes règles, mais presque partout les dispositions et les dimensions adoptées étaient celles qu'avaient apportées les mécaniciens et les monteurs anglais. Or ce n'est pas dans un pays où la houille est presque de nulle valeur, qu'il faut chercher des règles économiques pour en utiliser complètement le travail. Nous croyons avoir concouru à cette révolution, et depuis 1830, plusieurs grands ateliers en France et en Belgique, ont à notre connaissance adopté nos principes.

67. *Travaux de la Société d'encouragement.* La Société d'encouragement, pour compléter ce travail, a proposé des prix importants, et provoqué de belles expériences. Les fourneaux dont nous avons à nous occuper spécialement, sont ceux compris dans une de ses catégories, celle des fourneaux à produire la vapeur sous diverses pressions, et à évaporer, distiller, concentrer, des dissolutions salines ou autres; en un mot tous les fourneaux dont la fumée peut être refroidie dans le travail, aussi loin que le permet la nécessité de conserver un bon tirage.

68. Après avoir posé des principes généraux pour leur construction, nous entrerons dans des détails précis sur les divers fourneaux, et quelques appareils spéciaux : fourneaux à vapeur à basse et haute pression : fourneaux d'évaporation dans des chaudières de tôle ou de cuivre, ou dans des chaudières de plomb : fourneaux et chaudières des steamers et des locomotives et quelques appareils particuliers, comme ceux de Lemare et ceux de M. le baron Séguier. Nous dirons aussi quelques mots des fourneaux à haute température, où la flamme s'échappe directement dans la cheminée après avoir produit un effet qui n'est jamais qu'une très-faible portion de son effet utile. Enfin nous donnerons le moyen d'apprécier le rendement de chacune de ces espèces de fourneaux, les pertes inévitables qu'ils exigent, et les moyens de réaliser cette chaleur perdue : et par suite l'application d'appareils de chauffage d'air ou de production de vapeur, sur diverses espèces de fourneaux.

69. *Conditions auxquelles doit satisfaire un bon fourneau.* Les conditions auxquelles doit satisfaire un bon fourneau, sont :

1° De pouvoir brûler une quantité de houille suffisante pour fournir à la machine plus de vapeur qu'elle n'en consomme ;

2° D'avoir un tirage assez vif pour brûler son combustible à une température élevée, et produire l'effet utile le plus grand possible ;

3° De brûler complètement le combustible, sans donner de fumée, excepté dans les moments où on le charge.

4° D'être facile à réparer et à nettoyer ;

5° D'avoir les parois assez épaisses pour ne perdre que peu de chaleur ;

6° D'être muni de moyens faciles pour régler le tirage, et la quantité de combustible à brûler ;

7° De ne laisser échapper la fumée que quand elle est refroidie à 400 ou 450°, et qu'elle ne peut plus perdre de sa température sans diminuer le tirage.

70. *Excès de puissance que doivent avoir les fourneaux.*

Les trois premières considérations renferment presque tous les principes de la construction des fourneaux. Ainsi nous leur donnerons assez de développements pour éviter toute difficulté. Insistant particulièrement, sur la nécessité de laisser aux fourneaux plus de puissance que n'en exige rigoureusement leur service ordinaire, il est évident que la première condition que doit remplir un appareil est de suffire et au-delà aux besoins qu'il doit desservir, que ce service soit une distillation, une concentration ou une production de vapeur : car toutes les circonstances imprévues réduisent le travail du fourneau et le produit des appareils, aucune ne l'augmente ; et il est toujours facile de diminuer la puissance d'un fourneau et son tirage, jamais de l'accroître.

On a proposé de construire des fourneaux qui fournissent exactement la quantité de vapeur nécessaire à chaque machine, sans pouvoir aller au-delà (1), dans le but d'éviter toute augmentation extraordinaire de pression, toute chance d'explosion : sans penser que cette augmentation de pression se produit inévitablement toutes les fois que l'on arrête momentanément la machine ; et qu'alors surtout elle peut être la plus dangereuse. Il est très-rare, en effet, que la tension de la vapeur augmente beaucoup pendant le travail des machines.

71. On ne saurait révoquer en doute que, pour un fabricant qui doit disposer ses outils de manière à ne perdre aucun temps indispensable, il est de la plus haute importance de pouvoir, au besoin, pousser plus vivement son feu, et de se ménager d'avance cette ressource. Les constructeurs de

(1) Christian, t. II, p. 319.

machines à vapeur savent, par expérience, qu'un des défauts dont les manufacturiers se plaignent le plus, est de voir leurs machines se ralentir, s'affaiblir, parce qu'avec une machine fatiguée ou une cheminée peu netoyée, le fourneau n'est pas capable de continuer à fournir assez de vapeur, même au prix d'une plus grande consommation de combustible, jusqu'au moment où l'on peut opérer ce netoyage, ou le raccommodage de la machine, sans inconvénient pour le travail des ateliers. Nous indiquerons plus loin les dérangements de la machine ou du fourneau, dont on ne doit jamais ajourner la réparation. On doit même ajouter que beaucoup de machines ne peuvent pas prendre toute leur vitesse, ni enlever toute leur charge, parce que leurs fourneaux n'ont pas assez de puissance.

72. *Éléments d'un fourneau; son principe.* Un fourneau se compose de trois éléments distincts : *le foyer et la grille sur laquelle on brûle le combustible ; — les carneaux qui promènent la flamme et l'air chauffé autour de la chaudière, pour y appliquer et y verser la majeure portion de la chaleur qu'ils ont emportée ; — et la cheminée, qui reçoit l'air en partie refroidi, mais encore assez chaud et par conséquent assez léger, pour établir un courant ascensionnel à grande vitesse, et appeler dans le foyer, à travers la grille et le combustible, une colonne régulière d'air froid, qui en entretient la combustion.* — La quantité de combustible qui peut brûler en une heure, par exemple, sur la grille, dépend donc évidemment *de la quantité d'air qui la traverse*, et par conséquent *de la vitesse du courant produit par la cheminée.*

73. *Réduction de la grille.* Que si l'on vient à diminuer de moitié la surface de la grille, et son passage libre, le courant, comme il arrive à un cours d'eau que l'on gêne par un obstacle, sollicité par le même appel de la cheminée, prendra, *pour traverser la grille, une vitesse double, et en définitive, la vitesse du courant dans la cheminée étant satisfaite, il pas-*

sera toujours la même quantité d'air à travers la grille ; si ce n'est que traversant , en quantité égale mais avec une double vitesse , une quantité de combustible moitié moindre , elle opérera sur ce point une combustion beaucoup plus intense. La température du foyer s'élèvera beaucoup , mais la même quantité de combustible sera toujours brûlée dans le même temps , par la même quantité d'air.

74. *Augmentation de la grille.* Si , au contraire , on emploie avec les mêmes carneaux , et la même cheminée , une grille double en surface , la quantité d'air , qui passera en une heure , ne sera évidemment pas changée. Mais elle traversera une section double , avec une vitesse moitié moindre , et en quantité moitié moindre sur chaque point. L'air , rencontrant la même couche de houille , donnera une combustion lente et une température beaucoup moins élevée ; mais en somme , dans ce troisième cas , il y aura encore *sur toute la grille* , dans le même temps , la même quantité de houille brûlée que dans le premier et second cas , parce qu'il y *passera la même quantité d'air*.

75. *De la section des carneaux.* Il est évident que la meilleure proportion à donner aux carneaux , pour brûler en une heure toute la quantité de combustible que permettent les dimensions et la température de la cheminée , est une section égale partout à celle de la cheminée et sans étranglements : conditions semblables à celles qu'exige une conduite d'eau , pour débiter tout ce que peuvent fournir son diamètre , sa longueur et la pression motrice. Tout étranglement , tout obstacle , tout coude brusque dans les carneaux , gênera le courant , diminuera plus ou moins la vitesse de l'air , et le volume écoulé en une heure , et par conséquent la quantité de combustible brûlé et la température de la combustion. Dans des carneaux plus larges que la cheminée , le courant d'air perdra de sa vitesse , et dépensera inutilement , dans les dilatations et

contractions successives, une partie notable de sa force vive. De plus, le ralentissement qu'il éprouvera dans ces endroits y fera déposer toute la suie et les cendres qu'il pourrait entraîner. Ce sont, en un mot, les mêmes phénomènes que dans les élargissements d'une conduite d'eau, proscrits par tous les ingénieurs habiles.

76. Supposons que, d'un autre côté, sans rien changer, à la grille, on double la section de la cheminée et des carneaux, la température y restant la même, la vitesse du courant, y sera encore égale à celle qui existait précédemment : la cheminée débitera donc, et fera passer à travers la grille, une quantité double d'air ; mais cette grille n'étant pas changée, la vitesse à travers la grille sera double ; et la quantité, ainsi que la température de la combustion, seront beaucoup augmentées.

77. *Résumé des principes posés.* Si nous avons exposé clairement les principes généraux qui précèdent, on y trouvera toute la théorie des fourneaux, telle que M. d'Arcet l'a comprise ; on saisira, à l'instant, les fonctions et l'influence de chacune des parties d'un fourneau ainsi analysé ; on en déduira les plus importantes conséquences, et on les appliquera sans peine à tous les phénomènes qui se présentent chaque jour dans les arts.

Ces principes résumés, les voici :

La cheminée détermine par ses dimensions, la quantité de combustible qui doit être brûlée ; quantité qui peut être réduite par l'étranglement opéré dans les carneaux. Les dimensions de la grille diminuent ou augmentent l'activité et la température de la combustion, mais n'influent en rien sur la quantité brûlée en un temps donné.

Ainsi, pour brûler une quantité voulue de combustible, il faut donner à la cheminée et aux carneaux les dimensions nécessaires : et pour régler la température et le mode de com-

bustion, il faut réduire la grille à mesure que l'on a besoin d'une température plus élevée, et l'augmenter au contraire, quand on veut une température plus basse et une combustion plus lente. Ces fonctions diverses, ainsi distinguées, nous allons examiner en premier lieu, quelles sont les dimensions à donner à la *cheminée et aux carneaux* pour brûler, dans les fourneaux dont nous parlons, la quantité de combustible dont on a besoin en une heure.

78. *Ouverture de la cheminée et des carneaux.* Pour satisfaire aux trois premières conditions de construction d'un bon fourneau, c'est-à-dire pour brûler complètement sans fumée, et de la manière la plus avantageuse, une quantité voulue de combustible, il faut donner aux carneaux et à la cheminée une ouverture déterminée. Celle qui est adoptée généralement par les constructeurs, n'est pas assez grande pour opérer complètement la combustion que l'on exige du fourneau; il se produit alors une épaisse fumée, qui cause une perte constante de charbon; on obtient une combustion lente, à basse température, et l'effet utile du combustible mal brûlé est beaucoup moindre. En donnant une largeur plus grande à la cheminée et aux carneaux, l'activité du tirage et de la combustion augmente; la combustion devient complète, c'est-à-dire sans fumée, et tout le charbon employé est converti en acide carbonique, sans production d'oxide de carbone ou d'hydrogène carboné, ce qui est la condition la plus avantageuse pour le plus grand effet utile des fourneaux. On a essayé de déterminer par le calcul les dimensions les plus *avantageuses*, et de corriger ainsi ce que l'expérience et la pratique avaient de défectueux et d'incertain encore. M. Pécelet seul est arrivé à des formules qui donnent de très-bons résultats, mais, comme nous l'avons dit, elles sont d'un emploi difficile (2).

79. Le Bulletin de la société de Mulhouse, d'accord aussi

avec les expériences de Wessering, adopte 25 décimètres carrés pour la section de la cheminée et des carnaux en briques, qui doivent brûler 150 k. de houille par heure, ou 60 k. par 10 décim. carrés. Dans ce cas avec la houille, la température, au bas de la cheminée, est de 400 à 500°, et l'air est à moitié brûlé. Lorsque l'on brûle du bois dans les mêmes appareils, la température, au bas de la cheminée, reste plus élevée, et l'air est brûlé presque aux trois quarts.

80. *Rapport donné par M. d'Arcet.* Les expériences de M. d'Arcet, et l'analyse répétée des gaz pris dans les cheminées d'un grand nombre de fourneaux, lui ont prouvé que les cheminées construites d'après ces résultats sont trop étroites. Voici les dimensions qui lui ont donné les résultats les plus avantageux.

Pour brûler complètement et sans fumée de 30 à 33 k. de houille ordinaire en une heure, avec une cheminée de 8 m. à 10 m. de hauteur, les carnaux et la cheminée doivent avoir 10 décim. de section. A peu près la moitié de l'air s'échappe sans être brûlé; mais il n'y a pas d'avantage à pousser cette combustion plus loin. Si en effet on veut brûler l'air plus complètement pour diminuer la perte de la chaleur qu'il emporte avec lui, on brûle mal la houille, et on a de la fumée et un mauvais tirage. Si, au contraire, on force la quantité d'air, pour rendre le fourneau complètement fumivore, on perd de la chaleur par cet excès d'air. Les recherches de M. d'Arcet ont donc eu pour but la détermination des dimensions qui donnent le maximum d'effet utile.

81. *De la combustion complète de la fumée.* On a souvent cherché à compléter la combustion de la houille, par l'introduction de l'air froid ou chaud dans les conduits de fumée, derrière le foyer comme les constructeurs anglais, ou immédiatement au-dessus, comme l'a fait M. Lefroi sur les conceptions duquel nous reviendrons (179). Cette addition d'air, était

en effet nécessaire dans un fourneau dont les carneaux étaient trop étroits, et qui ne fournissant pas un tirage et une quantité d'air suffisante, distillait une portion de combustible; mais en donnant à la cheminée une largeur capable d'appeler toute la quantité d'air, dont la houille a besoin pour son entière combustion, on obtient des fourneaux plus simples, qui cependant ne donnent aucune trace de fumée, excepté au moment où on les ouvre pour y introduire de la houille. Alors, en effet, une partie de l'air pénétrant par la porte sans traverser la grille, il n'en passe plus une assez grande quantité à travers la houille, qui n'est plus brûlée complètement : le foyer se trouvant aussi rempli de houille froide, la température baisse et la combustion se ralentit; enfin la quantité fixe d'air qui passe régulièrement à travers la grille, n'est pas et ne peut pas être suffisante pour brûler complètement la grande masse de goudron et de gaz carburés, qui se dégagent dans le premier moment de la charge; si, en effet, cet air était suffisant pour faire face aux besoins de ce premier moment de charge, il serait en trop grande quantité pour tout le reste de l'intervalle qui s'écoule entre chaque charge, et emporterait inutilement beaucoup de calorique : de sorte que l'on perdrait beaucoup plus que l'on ne gagnerait. Dans les cheminées des fours à fabriquer le fer, où la température est beaucoup plus élevée, et où la flamme pénètre et monte souvent jusqu'au sommet, on compte 40 à 45 k. de houille par 10 décim. carrés, ce qui prouve que le rapport donné par nous de 30 à 33 k. de houille par 10 décimètres carrés, avec des chaudières à vapeur, est bien déterminé.

82. *Proportions de la cheminée et des carneaux.* En résumé, on sera toujours assuré de réussir dans la construction d'un fourneau de ce genre, en lui donnant les proportions suivantes :

1° A la cheminée autant de fois 10 décimètres carrés de

section, qu'elle devra brûler de fois 50 ou 56 k. de houille par heure ;

2° A tous les carneaux exactement la même section qu'à la cheminée :

83. *Des cheminées communes à plusieurs fourneaux.* Souvent la cheminée est construite pour desservir à la fois plusieurs fourneaux. Il faut alors lui donner une section égale à la somme des sections de ces divers appareils. La quantité à brûler par chaque fourneau, est alors réglée par les carneaux, auxquels on donne la section normale que nous avons adoptée. Si, par exemple, on établit sur la même cheminée quatre fourneaux, dont l'un soit destiné à brûler 15 k. à l'heure, l'autre 25 k., le troisième 10 k. et le quatrième 40, la cheminée devra fournir de l'air à la combustion de 90 k. de houille par heure, ce qui, à raison de 10 décimètres carrés par 30 k., donne 30 décimètres carrés de section. Les carneaux du premier fourneau auront 5 déc. carrés, ceux du second 8 et demi, ceux du troisième 3 et demi, et ceux du quatrième 13 ; en tout 30 déc. carrés.

84. *Largees cheminées anglaises.* Souvent, aussi on donne à la cheminée un grand diamètre et une grande puissance, et on y jette par des carneaux, la fumée des divers fourneaux que l'on construit, en se réservant ainsi de la marge pour en établir plus tard de nouveaux. Ces cheminées sont un moyen d'appel très-puissant, placé ordinairement au centre de l'établissement : l'appel est là toujours en excès par rapport aux fourneaux qui y communiquent, et ce sont alors leurs carneaux seuls qui règlent la quantité brûlée par chacun d'eux, suivant les principes que nous avons tracés.

85. *Dispositions nécessaires au tirage des fourneaux placés sur une cheminée commune.* Une condition très-importante pour mettre plusieurs fourneaux sur une seule cheminée, sans que le tirage ou l'allure d'aucun d'eux soit gêné, est la manière d'y faire pénétrer les divers carneaux.

Il faut d'abord éviter avec grand soin que deux d'entre eux se rencontrent en face, car le plus fort et le plus chaud des deux fermerait immédiatement le passage à l'autre.

Il ne faut pas non plus les faire entrer à angles droits dans la cheminée, car souvent les courants de fumée entrés au bas de la cheminée, ferment, comme par un obturateur, le passage à ceux qui arrivent à un niveau supérieur.

On doit donc faire arriver les divers carneaux à des hauteurs différentes, horizontalement, sans les opposer les uns aux autres, et en ayant soin de les relever légèrement avant qu'ils ne pénètrent dans la cheminée, et d'arrondir les angles de la maçonnerie, au-dessus, de manière qu'ils puissent prendre facilement le courant général. Avec ces précautions, on peut mettre sur la même cheminée autant de fourneaux qu'en comporte sa puissance, et quelque petite hauteur qu'elle ait; si la section est suffisante, chaque fourneau marchera suivant l'activité et la puissance pour lesquelles il aura été réglé, et indépendamment du service des autres.

Bien entendu qu'un bon registre servira à régler chacun des fourneaux, et fermera son carneau quand il ne marchera pas.

86. *De la cheminée.* La cheminée, dont nous avons déjà donné les proportions, doit avoir exactement la même section dans toute sa hauteur. Les élargissements sont inutiles, et les rétrécissements nuisent au tirage. Nous avons eu occasion d'observer que dans les cheminées coniques qui se rétrécissent par le haut, la quantité de houille brûlée correspond à peu près à celle que consommerait le fourneau, si la cheminée avait dans toute sa hauteur une ouverture égale à celle qu'elle porte à son sommet. C'est donc une dépense sans objet.

Une cheminée suffisamment large n'a pas besoin d'être portée à une grande hauteur. L'expérience nous a prouvé, que l'on pouvait facilement obtenir le tirage le plus fort avec une cheminée de 4 à 5 mètres, si la combustion est aussi vive qu'elle

peut l'être. En Angleterre, où les cheminées de 35 à 40 mètres ont été adoptées, et d'où elles se sont répandues en France, elles ont pour objet spécial de porter la fumée des fourneaux, au-dessus de l'atmosphère de brouillards qui couvre souvent les villes. La hauteur de la cheminée doit donc être déterminée uniquement par les dispositions locales ; l'économie indispensable dans les constructions manufacturières, quand elle ne nuit en rien à la qualité du travail, exige qu'on leur donne le moins de hauteur possible ; et dans beaucoup d'établissements où l'on a construit des cheminées qui coûtent 3, 4 et jusqu'à 10,000 fr., une cheminée de 3 à 400 fr. aurait aussi bien atteint le but que l'on se proposait.

87. Admettons encore, comme nous sommes en effet portés à le croire, qu'une cheminée très-haute brûle, à ouverture égale, plus de houille qu'une petite cheminée ; il sera toujours beaucoup moins coûteux d'augmenter d'une faible quantité l'ouverture de la cheminée, que sa hauteur ; et le tirage augmentera dans un bien plus grand rapport.

88. *Du peu d'influence de la hauteur de la cheminée sur le tirage.* Nous pourrions citer de nombreux exemples pour prouver que la hauteur des cheminées, qui occasionne de si grandes dépenses aux manufacturiers, n'est pas la condition nécessaire d'un bon tirage, et que pour l'obtenir il suffit d'une section suffisante.

Dans les fours de verrerie, il n'existe pour ainsi dire pas de cheminée, et le tirage est considérable. La plupart des fours à réchauffer ont des cheminées de 10 à 15 m. seulement. Les fourneaux de fusion, employés pour les métaux précieux chez les orfèvres, ont un excellent tirage avec des cheminées qui n'ont souvent pas 3 m. de hauteur.

Nous le répétons, avec une cheminée de 4 à 5 mètres de hauteur au-dessus du foyer, et de 10 décimètres carrés de surface, on peut produire un très-fort tirage et brûler complè-

tement 30 à 36 k. de houille par heure; et ces cheminées auxquelles il suffit de donner 2 décimètres d'épaisseur en bas et 1 décimètre en haut n'exigent qu'une faible dépense.

89. *Expériences de M. Pécelet sur les cheminées.* Nous donnerons en deux tableaux, parmi les notes qui terminent cet ouvrage, le relevé des expériences faites par M. Pécelet, en faisant varier la section, la hauteur et la température des cheminées (Note 1).

Dans le premier tableau, on trouve la vitesse de l'air à section et à température égale, en augmentant successivement la hauteur de la cheminée. Dans le second, la hauteur et la température sont les mêmes, mais la section varie. Nous avons choisi autant que nous avons pu le faire, dans les tableaux de M. Pécelet, les expériences faites dans les mêmes circonstances. On verra que quelquefois la température n'est pas exactement la même; mais elle se rapproche toujours beaucoup de l'égalité, et il est facile de tenir compte de cette différence. On peut juger, à la première inspection de ce tableau, que l'augmentation de hauteur des cheminées, n'exerce qu'une influence très-légère sur la vitesse de l'air qui les traverse, puisqu'en triplant cette hauteur, on n'a obtenu que, dans très-peu de cas, un accroissement de vitesse de $1/10^e$, et dans la plupart des expériences, cet accroissement a été presque nul. D'un autre côté, on augmente le tirage dans une proportion beaucoup plus grande, en augmentant la section de la cheminée; et les tableaux de M. Pécelet prouvent clairement que l'on augmente encore plus le tirage, en augmentant la température moyenne de la fumée. Or, en triplant la hauteur d'une cheminée, on rend la dépense au moins 5 à 6 fois plus grande, et 15 à 20 fois quand on la porte à 30 ou 40 m., tandis qu'il n'en est pas à beaucoup près de même, en triplant et quadruplant sa section; il résulte de là que pour les fourneaux, dont nous nous occupons, les grandes cheminées sont un objet de luxe, quand

elles n'ont pas pour unique objet de porter des gaz dangereux à une grande hauteur dans l'atmosphère, comme on l'exige dans les villes.

90. *Forme des cheminées.* Quant à la forme des cheminées, il n'existe aucune différence entre le tirage et le pouvoir des cheminées carrées ou de celles qui sont rondes, à section et à hauteur égales. Les cheminées carrées ou rectangulaires ont l'avantage important d'être plus faciles à construire et à placer dans la disposition des ateliers, enfin de coûter moins cher que les cheminées rondes.

Il n'entre pas dans notre plan de donner des détails sur le mode de construction de ces cheminées ; nous dirons seulement que suivant ce principe important, de donner aux cheminées une section égale depuis le bas jusqu'au sommet, et la nécessité de ne pas casser les briques, mais de les employer entières dans leur construction, nous opérons toujours la retraite des briques en dehors et non pas en dedans. Le coup d'œil est un peu moins élégant, mais la construction à section égale est beaucoup plus économique. (Pl. 1 et 2, fig. 11) Nous donnerons le tracé de la cheminée de Gerville qui n'a coûté que 7 à 800 fr. de construction, et qui, avec 15 mètr. de hauteur, avec 50 décimètres carrés de section, peut brûler 160 kilog. de houille à l'heure, et fournir au minimum de la vapeur à une machine de 40 chevaux, sans condensation.

91. *Chapeau de tôle sur les cheminées.* On ne doit jamais oublier de couronner aussi le haut des cheminées d'un chapeau de tôle *f*, qui laisse à la fumée un passage de 30 à 40 centimètres de hauteur, et qui est destiné à la préserver du refroidissement et du ralentissement de tirage occasionné par la pluie. Tout autre appareil gêne le tirage sans utilité.

92. *Inconvénients des carneaux trop longs.* Il résulte de ce que nous venons de dire, que toutes les cloisons que l'on a l'habitude de placer dans les fourneaux, soi-disant pour rete-

nir la chaleur, et la forcer de passer dans les chaudières, et dont l'effet direct est de consommer une partie de la force vive du courant de fumée et de le ralentir, sont des moyens certains d'avoir un mauvais tirage, un feu lent, et une grande consommation de combustible, pour un petit effet utile. Les manufacturiers qui construisent des fourneaux, doivent être bien convaincus, que le seul moyen d'obtenir un emploi avantageux du combustible, et d'avoir un fort tirage, est une combustion vive; tout ce qui concourt à ce but est utile; tout ce qui lui nuit, comme les cloisons, la circulation trop longue et trop compliquée autour des chaudières, donne immédiatement une perte; et il vaudrait mieux laisser la fumée passer du premier carneau dans la cheminée, sans circuler autour de la chaudière, que de la faire séjourner trop longtemps dans des conduits étranglés; car, malgré la perte de chaleur qui en résulterait, on tirerait encore un parti plus avantageux du combustible. L'expérience a prouvé que, pour obtenir la vivacité de feu nécessaire à la production de la vapeur, surtout à haute pression, l'air doit avoir encore 4 à 500° de chaleur en arrivant au bas de la cheminée; quand on le refroidit assez pour qu'il n'ait plus que 300° avec la houille et 350 avec le bois, le tirage et la combustion se ralentissent, la chaleur du feu est moins forte, et un poids déterminé de charbon fournit moins de vapeur que quand le tirage et la combustion sont plus actifs. En effet, plus le feu est vif et plus il y a de différence entre la chaleur du feu et celle de l'eau que renferme la chaudière: plus, par conséquent, sont grandes la quantité de chaleur qui passe à travers le métal, et la production de vapeur.

93. Nous ajouterons, pour les personnes qui croiraient produire encore une quantité notable de vapeur, en faisant circuler la fumée une seconde fois autour de la chaudière, que l'effet des carnaux sur les parties latérales de la chaudière, est très-faible en proportion de l'effet du feu direct, et

que, quand cette fumée a atteint 400 ou 500°, il devient presque nul; au-delà de 12 à 15 m., la longueur des conduits latéraux est non-seulement inutile, mais nuisible, comme ralentissant le tirage. Pour prouver complètement cette assertion, nous citerons l'exemple suivant.

94. *Deux chaudières d'une saline à Liège.* Le propriétaire de l'une des plus belles raffineries de sel des environs de Liège, nous a montré deux fourneaux, construits sous des chaudières d'évaporation de 7 à 8 m. de côté; le foyer de l'un des fourneaux était placé sous une partie de la chaudière, et la fumée circulait ensuite dans de larges carnaux, qui la promenaient sous toute sa surface. Dans l'autre fourneau, le foyer était au milieu de la chaudière et chauffait directement tout le fond, sans cloison ni conduit, et la fumée passait ainsi sans circulation dans la cheminée. Eh bien, quoiqu'une chaudière aussi large que longue, soit peu favorable à un bon emploi du feu, qui n'exerce son action que dans le sens du courant et difficilement de côté, et que, dans les chaudières d'évaporation, le rapport le plus avantageux de la longueur à la largeur paraisse cependant être celui de 3 à 1, d'après les expériences de M. d'Arcet, ce fourneau produisait autant d'effet que l'autre, et chaque quintal métrique de sel produit y coûtait exactement la même quantité de combustible que dans l'autre chaudière.

95. *Chaudières de la saline de Dieuze.* Il en est de même sous les chaudières d'évaporation du sel à Dieuze : elles ont 15, 20 et jusqu'à 30 m. de longueur, un ou deux foyers sous la partie antérieure, et aucune cloison ni circulation : et la chaleur y est si bien utilisée, que nulle part l'évaporation du sel ne s'y fait aussi économiquement. Ainsi le quintal métrique s'y fabrique avec 44 k. de houille de dépense, soit plus de 7 k. de vapeur pour 1 k. de houille. M. Grouvelle en a con-

siruit de ce genre dans la grande saline de Briscous (Basses-Pyrénées), avec le même succès.

96. *Fourneau de concentration à quatre chaudières.* Une expérience qu'il a faite ailleurs, nous fournit une preuve encore plus nette; il a monté dans une fabrique d'acide sulfurique, un fourneau de concentration composé de quatre chaudières de plomb, de 2 m. de longueur chacune, et 1 m. 60 de largeur, rangées deux à deux et bout à bout, de manière à former deux longueurs de 4 m. chacune, placées à côté l'une de l'autre.

Le foyer était sous la première chaudière de la rangée de gauche, la flamme passait ensuite sous la seconde chaudière qui reposait sur une simple plaque de fonte; puis, de là, elle se rendait sous la seconde rangée, et chauffait de même la troisième et la quatrième chaudière posées aussi sur des plaques de fonte. Des syphons établissaient la communication de l'acide entre chaque chaudière jusqu'à la première, en sens contraire du courant de la flamme. Cette première chaudière reposait sur une voûte en briques réfractaires; et cependant la presque totalité de l'évaporation s'opérait dans cette chaudière, l'acide montait très-peu en degré dans la seconde, il n'était qu'à demi échauffé sans monter en degré, dans la troisième, et dans la quatrième il ne réalisait aucun effet. Ainsi, malgré la voûte de briques, 75 à 80 p. 0/0 du travail utile, se produisait dans les deux premiers mètres, et au-dessus du foyer; 15 p. 0/0 environ, dans les deux mètres suivants, rien au-delà de 6 m.

97. On arrivera à des résultats semblables à ceux que nous venons de citer, et très-avantageux, sans multiplier les carneaux, toutes les fois que l'on exposera directement au feu de larges surfaces, et qu'on ne leur demandera qu'un effet utile modéré.

97. *Effet des larges cheminées.* Disons toutefois que quand

les cheminées à grande hauteur deviennent très-larges et atteignent 80 décim., ou 1 mètre carré, et que les foyers y sont proportionnés, la puissance de ces cheminées augmente dans un rapport beaucoup plus grand que leur section. C'est que les résistances dans les cheminées en brique ont une très-grande influence sur la quantité brûlée, et que ces frottements n'augmentent pas à beaucoup près autant que la section, puisque les résistances sont en raison de la surface de frottement. Ainsi la moyenne de houille brûlée, au lieu d'être alors 3 à 4 kil. par décimètre carré de cheminée, s'élève jusqu'à 6 et 8 kil.

98. *Du rapport entre la surface de chauffe et la section des carneaux et de la cheminée.* Nous devons, avant de terminer ce qui concerne les cheminées et les carneaux, insister sur la nécessité de régler *exactement*, comme nous l'avons dit, la surface de chaudière qui doit produire une quantité donnée de vapeur à l'heure, et la section de cheminée et de carneaux qui doit brûler une quantité donnée de houille. Ces proportions sont calculées de manière à établir entre la section des carneaux et de la cheminée, ou *la puissance du fourneau*, et la surface de chauffe, ou *la puissance de la chaudière*, le rapport que l'expérience a montré le plus avantageux. Pour les chaudières en tôle et en cuivre, à fondé plat, ce rapport se résume ainsi, d'après les recherches de M. d'Arcet : *la cheminée et les carneaux doivent avoir $1/20^e$, et la grille $1/6^e$ de la surface de la chaudière.* Ce rapport donne des dimensions à peu près identiques à celles que nous avons prises comme règle.

99. *Des fourneaux trop puissants pour le générateur.* Nous avons signalé les défauts des cheminées et carneaux trop étroits; mais il faut bien se garder aussi de leur donner un notable excès de grandeur, au-dessus de ce qui est nécessaire au service; car évidemment il passerait trop d'air dans

le fourneau ; on perdrait beaucoup de chaleur, l'on brûlerait plus de combustible, et la marche de la machine deviendrait très-irrégulière.

100. *Des cheminées de tôle et de cuivre, et de leurs proportions.* Les résultats que nous venons de donner, s'appliquent aux cheminées en briques, le plus fréquemment employées. Mais dans la construction des *steamers* et des locomotives, et dans quelques circonstances encore, on emploie des cheminées de tôle ou de cuivre.

Les expériences de M. Péclet, ont prouvé que le frottement de l'air chaud dans les cheminées de tôle, de cuivre, et surtout de fonte, est beaucoup moindre que dans les cheminées de briques, et que par conséquent la vitesse du courant et le tirage y sont beaucoup plus grands. On doit donc, dans l'emploi de ces cheminées, leur donner une section moindre, et proportionnée à la différence de vitesse du courant, toutes conditions égales entre les deux espèces de cheminées.

Ce rapport des vitesses entre les cheminées de diverses natures est, d'après M. Péclet :

	<i>Rapports.</i>		
Cheminées de fonte. — vitesse en une seconde.	5 m. 74 c.		1 75
— tôle et cuivre,	4 48		1 36
— brique,	3 27		1 "
— poterie,	3 05		0 93

Il est évident que les sections des cheminées et carnaux de ces diverses matières, doivent être dans les rapports inverses à ceux des vitesses. Ainsi nous adopterons, pour obtenir la même quantité brûlée et le même tirage :

Cheminée de fonte, section à peu près,	0 m. c., 60
— tôle et cuivre,	0 75
— brique,	1 "
— poterie,	1 "

101. *Cheminées en fonte.* Les cheminées de fonte ne sont guère employées que dans des calorifères, poêles ou chauffages; pour servir de passage soit à la fumée, soit à l'air chaud; quelquefois aussi dans les fourneaux à gaz, et partout où l'on ne peut pas adopter la brique, et où la tôle brûlerait rapidement.

102. *Cheminées en tôle et en cuivre.* Celles en tôle sont rapidement détruites par le feu et la rouille; et quand on est obligé de les employer, il est bon de les galvaniser. Celles de cuivre coûtent plus cher, et ont beaucoup plus de durée. Quand on les emploie comme cheminées isolées, on les fixe par le pied, au moyen d'un fort boulonnage, sur un socle de fonte solidement lié à la maçonnerie par des *tirants de fer*.

103. *Cheminées en poteries.* On n'emploie ces cheminées que dans des manufactures de produits chimiques, et dans beaucoup de calorifères.

104. *Carneaux en métal.* Quant aux carneaux, ils sont quelquefois intérieurs aux chaudières, et alors construits en tôle ou en cuivre, comme dans les locomotives, les chaudières de *steamers* et beaucoup de chaudières anglaises à basse pression. Il faudra alors calculer leurs dimensions d'après les règles que nous avons données, pour les cheminées réduites, suivant le rapport des cheminées en tôle et en cuivre, en ayant soin de les compter un peu largement, parce que les carneaux intérieurs des chaudières sont très-fortement refroidis par l'eau qui les environne, et rapidement engorgés de suie et de crasse qui en réduisent la section et le tirage.

105. *Carneaux en briques.* Les carneaux extérieurs des chaudières sont presque exclusivement établis en briques, et la voûte qui les couvre par le haut, vient par échelons s'appuyer sur la chaudière, et sous les oreilles qui la soutiennent. Cette disposition de voûte par gradins renversés a l'avantage d'éviter une taille de brique très-coûteuse; et elle donne une construction fort solide. (*Pl. 1, fig. 4.*)

106. Registres et clés. Pour compléter ce qui concerne les cheminées et carneaux, nous dirons qu'il faut toujours établir au bas de la cheminée ou sur le derrière du carneau de chaque fourneau, quand la même cheminée dessert plusieurs fourneaux, un registre en fonte ou en tôle, dont l'ouverture doit être rigoureusement égale à l'ouverture des carneaux de la chaudière qu'il doit desservir. Sans ce registre, il serait impossible de régler la marche du feu, la réduire ou l'arrêter complètement, ou dans un instant quelconque, quand on arrête le soir ou à tout besoin, et fermer le courant d'air du fourneau quand on ne s'en sert pas, afin qu'il ne nuise pas au tirage des autres.

Sur les cheminées de tôle, cuivre, fonte ou poteries, il faut mettre des clés pour le même objet.

107. Influence de la surface de grilles. Nous avons prouvé que la quantité de combustible brûlée en un temps donné, dépend des proportions de la cheminée et des carneaux, et que l'activité et la température de la combustion, dépendent du rapport à établir entre la quantité à brûler en une heure et la surface de la grille.

108. En effet, dans un fourneau bien construit, on peut, sans *changer* la quantité de combustible brûlée en une heure, réduire d'un quart, de moitié, de trois quarts la surface de la grille, ou au contraire la doubler: on augmentera seulement, ou on diminuera ainsi l'intensité de la combustion; ce rapport exerce une haute influence sur l'effet utile des fourneaux, et de plus il doit varier suivant le service auquel ceux-ci sont destinés.

Puisque la quantité de chaleur qui passe à travers une surface de chauffe, dépend de la différence de température entre le foyer et le liquide contenu dans la chaudière, toutes les fois que le service le permet, il y a grand avantage à porter haut la température des foyers et, par conséquent, à employer de petites grilles.

Nous sommes convaincus que les dimensions adoptées par le comité de la Société de Mulhouse, et par MM. Tredgold et Péclét, sont trop fortes pour avoir un tirage aussi vif que le réclame la production de la vapeur.

109. *Rapport de la grille à la section de la cheminée.* Ainsi dans les fours à réchauffer et à puddler et sous les chaudières à haute pression, on donne à la grille à peu près trois fois la section de la cheminée et des carneaux, ce qui équivaut à brûler 100 à 120 k. de houille sur chaque mètre carré de grille. M. d'Arcet a depuis plus de vingt ans et le premier, adopté dans ce cas, et nous avons constamment employé avec succès le rapport de 3 à 1 entre la grille et les carneaux ou la cheminée, quand cette cheminée a la même section que les carneaux. La chaudière *E* de Wesserling, qui a donné de si bons résultats, est construite dans ce rapport. Sous les chaudières d'évaporation, surtout quand l'évaporation doit marcher lentement, sous les chaudières de plomb, employées à la concentration de l'acide sulfurique et de beaucoup d'autres produits chimiques, pour lesquels l'action du feu a besoin d'être plus lente et plus douce, nous donnons à la grille jusqu'à six et sept fois la section de la cheminée et des carneaux, et nous ne faisons pas brûler plus de 50 à 60 k. par mètre carré de grille.

110. Une conséquence inévitable de cette réduction de la température de combustion, c'est que sous les chaudières de plomb, où l'on est obligé de conduire le feu avec lenteur, et d'employer pour cela de larges grilles, l'on n'obtient que 2 1/2, 3 ou 3 1/2 kilog. de vapeur pour chaque kilog. de houille brûlée, et d'autant moins, que le liquide évaporé exige une plus haute température pour entrer en ébullition, comme l'acide sulfurique à 50 degrés, les dissolutions salines, etc.

Les grilles larges, indépendamment de leurs propriétés spéciales, ont l'avantage de pouvoir être couvertes à la fois

d'une quantité de combustible plus grande, et d'exiger l'ouverture moins fréquente des portes.

111. *Des barreaux de grille.* Quant à l'espace libre à laisser entre les barreaux, il dépend principalement de la qualité de la houille : si celle que l'on emploie est grasse et très-collante, il n'y a pas d'inconvénient, il y a même utilité à laisser cet espace assez large, soit de $\frac{4}{3}$ de la surface de la grille, sans crainte de voir tomber la houille dans le cendrier ; si au contraire la houille est maigre, et qu'elle se réduise facilement en poussière, il faut diminuer les intervalles et les réduire à $\frac{1}{4}$ de la surface totale. Cela n'influe que très-peu sur le tirage. On conçoit cependant que, plus l'espace libre est petit, plus il est nécessaire de tenir la grille propre, pour ne pas y laisser accumuler les crasses qui l'obstrueraient rapidement.

Il est toujours utile de passer à la claie les crasses des fourneaux, afin d'en retirer la menue houille qui a pu échapper à la combustion et que le chauffeur réemploie.

112. Si les barreaux sont en fonte, on les coulera en coin par-dessous (*Pl. 1, fig. 2, N*) : l'arrivée de l'air et le dégagement des cendres et crasses en est plus facile. Il faut bien se garder de donner aux barreaux une forme contraire, c'est-à-dire de les faire en coin par le haut, ou quand on emploie des barreaux carrés, de les poser sur l'angle, comme font bien des constructeurs et des fumistes, car ils s'engorgeraient très-rapidement par l'accumulation des cendres et des crasses, dans le fond de ces entonnoirs. Si les barreaux sont en fer, il est complètement inutile de leur donner à la forge une forme conique, il faut les employer carrés, tels qu'on les achète (*Pl. 2, fig. 1 et 5*), et s'ils ont plus de 0 m., 50 de portée, on les soutient au milieu sur un barreau (*a*) placé en travers (*Fig. 3*). On leur laisse toujours plus de longueur que n'en a la grille, et ils reposent d'un côté sur un chenet en fer placé à 0 m., 40 du fond du cendrier, pour que les barreaux, en les nettoyant, ne puis-

sont pas tomber, et de l'autre, sur la voûte (c) du cendrier, posés à côté les uns des autres, et entièrement libres, ou sur une plaque de fonte. Il est alors très-facile de nettoyer la grille, ou au besoin, de jeter à bas le feu du fourneau sans ouvrir la porte, en retirant les barreaux par le dehors. Cette manière de faire tomber le feu sans ouvrir la porte des fourneaux, est souvent très-utile lorsqu'il arrive un accident imprévu à la machine : car, en ôtant brusquement le feu par la porte, il est difficile que l'air froid qui frappe tout à coup les tubes fortement chauffés, ne les endommage pas : tandis qu'avec des barreaux de fer mobiles et saillants, comme nous les traçons ici, on peut fermer le cendrier et y laisser tomber le feu sans inconvénient. Dans tous les cas, les extrémités des barreaux doivent être libres, afin qu'ils puissent s'allonger par la chaleur sans se courber, ce qui arrive infailliblement à ceux qui sont retenus des deux bouts.

113. *Nature des barreaux.* On n'est pas d'accord sur la préférence à donner aux barreaux de fonte ou à ceux de fer. Les mécaniciens assurent que ceux de fonte durent plus longtemps ; mais dans les forges, dans les fours à travailler le fer, où la température est très-intense, tous les barreaux de grille sont en fer forgé. Nous croyons qu'en fonte ou en fer leur durée dépend entièrement des soins et des fréquents nettoyages du chauffeur, qui peut les conserver ou les couper en peu de temps ; mais les barreaux de fonte sont complètement perdus quand ils se trouvent brûlés ; ceux de fer, avec deux soudures et un coup de marteau sur l'enclume, sont sans peine remis à neuf.

114. *Du cendrier.* Le cendrier O doit être large et profond, son ouverture entièrement libre, afin que l'air y circule avec facilité, et que le tirage ne soit pas diminué par des frottements inutiles. On n'y doit jamais laisser accumuler les cendres, car elles rougissent bientôt, échauffent l'air, qui, étant dilaté,

rend la combustion moins vive, et de plus rougit et brûle les barreaux. C'est le défaut d'un très-grand nombre de fourneaux, où les barreaux se détruisent et se déforment en peu de jours, parce que les cendriers sont trop petits. Quand on construit un fourneau dont la grille est étroite et n'a, par exemple, que 0 m. 20 de largeur, il est, par la même raison, utile de donner au cendrier plus de largeur qu'à la grille. Lorsque l'on a soin de construire un cendrier profond, de le tenir toujours vide, et de nettoyer souvent la grille, les barreaux ne rougissent jamais, et on peut, sans inconvénient, employer à volonté des barreaux de fonte ou de fer, et se dispenser de conduire un courant d'eau dans le cendrier, comme la société de Mulhouse l'a proposé, avec raison, pour ceux qui sont trop étroits. Avec les précautions que nous indiquons, cette méthode ne nous paraît pas utile.

115. Lorsque le tirage d'un fourneau a toute l'activité nécessaire, le foyer, même établi dans une cave, appelle sans difficulté toute la quantité d'air dont il a besoin; cependant il vaut toujours mieux, en pareil cas, établir un chemin pour l'arrivée aussi directe que possible de l'air extérieur jusqu'au cendrier. C'est ainsi que les grilles des fourneaux de verrerie, sont placées au sommet et au croisement des voûtes d'un souterrain divisé en quatre branches, dont chacune se dirige vers un des quatre points cardinaux; une porte ferme chacune de ces entrées, et on reçoit constamment l'air du côté du vent régnant, pour donner plus d'activité au foyer.

116. L'établissement de portes en tôle, aux cendriers des fourneaux, n'a pas d'utilité, et ne se fait que quand on veut se servir du tirage du foyer pour établir un appel, soit dans des séchoirs, soit dans des salles à désinfecter, soit pour brûler plus complètement et emporter la fumée de matières désagréables ou dangereuses; et c'est ainsi que l'on a établi, à la manufacture royale des tabacs de Paris, des fours à brûler les

tôtes de *tabac* dont on ne savait précédemment comment se débarrasser. En pareil cas, on brûle la matière à détruire sur une grille, et on conduit la fumée au fond du cendrier et sous la grille d'un fourneau ordinaire ; l'on met une porte en tôle à ce cendrier ; quand elle est fermée, le tirage du foyer appelle et fait passer à travers la grille, toute la fumée du foyer supplémentaire, et en brûle et détruit la mauvaise odeur.

117. *De l'autel.* Derrière la grille, la maçonnerie forme une marche (*d*) (*pl. 1 et 2*), que l'on nomme l'autel ; elle sert à retenir la houille et les cendres sur la grille, et les empêche de passer dans le conduit de la fumée et de l'obstruer. Cet autel ne doit pas s'élever à plus de 0 m. 11 ou 0 m. 16 au-dessus de la grille, et il doit laisser à la flamme, pour entrer dans le premier carneau, un large passage en *entonnoir*, contre l'usage anglais, qui monte l'autel jusqu'à une petite distance de la chaudière. Cette position, qui empêche la flamme de se mêler à tout l'air dont elle a besoin pour brûler complètement, et qui même peut concentrer une chaleur trop ardente sur un point de la chaudière, est sans avantage, et l'expose à être souvent brûlée.

118. *Élévation* de la chaudière au-dessus de la grille.* La chaudière doit être placée à une petite distance de la grille ; l'action du feu en est plus vive ; le seul espace nécessaire est celui que réclame le service de la houille, afin de pouvoir charger le fourneau facilement sans toucher aux tubes ou à la chaudière. Dans les machines de seize chevaux et au-dessous, la grille doit se trouver à 0 m. 300 ou 0 m. 325 de la chaudière. Dans les chaudières plus fortes, où la quantité de houille à brûler est beaucoup plus grande, comme dans les machines de 30 à 40 chevaux, etc., il ne faut jamais laisser plus de 35 à 40 centimètres d'intervalle : c'est une condition importante pour obtenir un grand effet du combustible, et toutes les fois qu'on éloignera une chaudière du feu, on diminuera

considérablement sa puissance. Toutes les expériences faites sur ce sujet l'ont prouvé.

119 *Des portes.* Les portes en fonte ou en tôle doivent être écartées du feu de 0 m. 325 au moins, afin de ne pas être exposées à sa première action, et on les garnit souvent de briques ou de carreaux réfractaires; c'est une bonne disposition pour les foyers qui ne sont pas refroidis directement par une chaudière comme ceux des fourneaux à gaz; mais avec les chaudières d'évaporation, une porte en tôle ou en fonte, à deux vantaux sans recouvrements, suffit très-bien. Lorsque le tirage est bon et la grille exactement nettoyée, jamais la porte ne rougit. Le cadre qui soutient la porte doit être appliqué en dehors, et autant que possible relié au système d'armature du fourneau. Les châssis qui sont en bouche de four et pris dans la maçonnerie, la dégradent toujours par leurs dilatations (*Pl. 1, fig. 3*).

120. *Des foyers.* Le foyer dont les dimensions sont déterminées par celles de la grille, et par la nature du combustible (*Pl. 1 et 2*), doit envelopper aussi bien que possible les bouilleurs par son évasement. Nous en montons ordinairement les parois en bonne brique de Bourgogne *J D*, en retraitant chaque tas de quelques lignes pour lui donner son évasement sans tailler la brique. L'action du feu a bien vite dressé complètement ces faces. Quand un fourneau à vapeur ou à évaporation est établi sur de bonnes proportions, et que le tirage y est vif, il n'est pas nécessaire que le foyer soit construit en briques réfractaires, celles que nous indiquons résistent très-bien. Ce qui détruit les parois des foyers, c'est l'action d'un feu qui dort, dans les fourneaux où le tirage est gêné. C'est ainsi que, dans les fours à réchauffer, on produit artificiellement cet effet en étranglant le passage de la flamme au bas de la cheminée, pour la forcer à chauffer les parois des fours, leur sole et le métal dont on la couvre.

121. Description du fourneau d'une chaudière à vapeur de 8 chevaux. Après avoir ainsi posé succinctement des principes généraux, nous allons présenter quelques exemples de constructions de fourneaux à vapeur. Il nous sera facile d'entrer dans les détails de leur application aux principaux cas qui se présentent, et d'en rendre l'intelligence et l'usage prompts et sûrs. Nous prendrons, pour premier exemple, une chaudière (*Pl. 1^{re}, fig. 1, 2 et 3*), avec des bouilleurs capables d'alimenter une machine à vapeur de Woolf de 8 chevaux, parce que ce sont les fourneaux les plus compliqués, et les plus difficiles à disposer avantageusement.

122. Machine de Woolf de 8 chevaux. Une machine de 8 chevaux, système de Woolf, consomme, quand elle travaille, à pleine charge, de 3 k. à 3, 25 de houille par cheval à l'heure, ou 24 à 26 k. pour les 8 chevaux. Nous croyons prudent de porter jusqu'à 40 k. la quantité que le fourneau pourra brûler, d'autant plus qu'une portion de cette vapeur peut être appliquée à d'autres usages, comme chauffage d'ateliers, etc. Pour brûler 40 k. de houille à l'heure, la cheminée et les carneaux auront 13 décimètres carrés de section; pour 60 k. ils auront 20 décimètres carrés. Nous avons donné à la cheminée dont nous parlons 0 m., 44 sur 0 m., 32. Quant aux carneaux (*E, G, H, J, K, L*), leur forme doit se conformer à celle de la chaudière, autour de laquelle ils circulent; mais, dans tous les cas, il faut leur donner à tous la même ouverture, c'est-à-dire 13 déc. C'est une des conditions les plus importantes pour obtenir de bons fourneaux. Ainsi, sous les bouilleurs où le conduit a 0 m., 75 de largeur, il n'aura que 0 m., 48 de hauteur moyenne; entre les deux bouilleurs et la chaudière *M*, où on ne peut lui donner que 0 m., 42 de hauteur, il aura 0 m., 32 de largeur, ce qui présente toujours un passage de 13 décimètres $1/2$ carrés. En un mot, il faut éviter avec le plus grand soin tout rétrécissement et tout élargissement dans les carneaux.

123. Le tracé que nous donnons ici est celui d'un fourneau exécuté par nous, dont les résultats ont été très-bons.

La fumée, au sortir du foyer, passe sous les bouilleurs dans un conduit *L* qui a 0 m. 75 (*fig. 1, 2 et 3*), sur une hauteur moyenne de 0 m. 18. Lorsque les localités exigent que la cheminée soit placée sur le devant du fourneau, la fumée remonte sur les bouilleurs, dans le carneau central *M* formé par une cloison horizontale de brique *m*, qui ferme l'intervalle entre les bouilleurs, et deux murs *nn* élevés sur les bouilleurs mêmes. Ce carneau a 0 m. 32 sur 0 m. 45; la fumée s'engage ensuite par l'ouverture *G* (*fig. 1*), dans le carneau de gauche *J*, passe dans le carneau de droite *K*, en circulant autour de la chaudière, revient sur le devant *H*, et se rend dans la cheminée *D*. Les dimensions de ces carnaux latéraux sont 0 m. 20 sur une hauteur moyenne de 0 m. 67, c'est-à-dire toujours 13 1/2 décimètres carrés.

124. La nécessité de placer la cheminée sur le devant du fourneau, a exigé l'établissement de quatre circulations de carnaux. Il y en a une qui est inutile; mais pour les établir nous avons pu leur conserver à toutes la section voulue de 13 décim. carrés, ce qui aurait été évidemment impossible si la chaudière avait eu 16 à 20 chevaux de force, et avait exigé des carnaux de 25 à 30 décim. En pareil cas, lorsqu'il y a nécessité de ramener la fumée sur le devant du fourneau, et toutes les fois que l'on peut placer la cheminée sur le derrière du fourneau, on n'établira que trois carnaux autour de la chaudière : un dessous et deux latéralement. C'est la disposition la plus avantageuse, et la plus usitée aujourd'hui, et s'il le faut, on ramène la fumée dans la cheminée par un carneau perdu dans l'épaisseur de la maçonnerie. Il vaut beaucoup mieux perdre un carneau qui ne donnerait rien, que d'étrangler tous les autres, et d'obtenir un mauvais fourneau. La construction du fourneau avec trois carnaux est plus simple,

et le tirage y gagne toujours. On voit, *fig. 7*, la disposition que l'on doit alors donner aux carneaux. La fumée passe sous les bouilleurs dans le carneau *L*, revient sur celui de gauche *J*, et retourne dans la cheminée par celui de droite *K*.

125. *Carneaux*. Les carneaux ont été construits avec la plus grande exactitude, les angles arrondis, tout ce qui aurait pu faire obstacle au courant de fumée soigneusement écarté. La brique, dans ces carneaux, est maçonnée avec de la terre à four. Dans la cheminée, on emploie le plâtre, ou, au moins, la chemise intérieure du bas de la cheminée est maçonnée en terre, et tout le reste en plâtre.

126. *Cheminée*. Dans le fourneau dont nous parlons, la cheminée a été montée à 9 m. de hauteur sur 1/2 brique, ou 0 m. 11 d'épaisseur, et accolée à un mur. Elle a coûté 200 fr. ; et cependant il est difficile de voir à un fourneau un tirage et une marche meilleurs. Nous recommanderons bien aux manufacturiers, lorsqu'ils verront une cheminée se fendre, ne fût-ce qu'entre quelques joints de briques, de vérifier, au moyen d'une flamme de chandelle, s'il y a un appel d'air extérieur par les joints ouverts, de les fermer de suite ; car nous avons vu un appel si fort, par des fentes de ce genre, que le tirage du fourneau, placé sur la cheminée dont nous parlons, en était diminué.

127. *Grille*. La grille est placée à 0 m. 30 des bouilleurs ; elle a, comme nous l'avons dit, 40 décim. carrés de surface, ou 0 m. 50 largeur, sur 0 m. 80 longueur ; le cendrier a la largeur de la grille, sur 0 m. 90 de profondeur.

128. En donnant aux chaudières des oreilles solides, ce que nous conseillons toujours, on n'a pas besoin de supports de fonte pour les porter ; (*Pl. 1, fig. 1 et 2*) il suffit de monter la voûte de briques qui ferme le carneau jusque sous les oreilles ; (*Pl. 2, fig. 1*) et pour que la charge soit répartie également et qu'aucun tassement ne soit possible, on met sous chaque oreille

une lame de fer de 35 à 40 cent. de longueur, qui relie toutes les briques ensemble. Jamais une chaudière ainsi montée ne peut fléchir. Celle dont nous donnons la description est, comme on le voit, portée sur huit supports de fonte, *SS*, *fig. 2*. Ces supports doivent reposer sur des dezz de pierre de taille *p*, solidement fixés dans la maçonnerie de briques, et auxquels on laisse prendre du tassement avant d'ajuster les bouilleurs à la chaudière.

129. La plaque de fonte *e* sur laquelle est soutenue la tête des bouilleurs ne doit pas être engagée sous les pieds droits de la voûte, car alors on ne pourrait l'enlever sans démolir cette voûte. Celle qui forme le devant du foyer, est exposée à être souvent brisée par l'action du feu et par les outils du chauffeur. Il faut y réserver des côtes solides, ou la porter sur une voûte en briques. (*Pl. 1, fig. 1 et 3.*)

130. Si la chaudière porte trois bouilleurs en tôle ou en cuivre (*Pl. 1^{re}, fig. 5*), il faut laisser toute leur surface inférieure exposée au feu direct; pour cela, on ferme avec des briques *m m* l'intervalle qui les sépare; on élève un mur *n* sur le bouilleur du milieu. La fumée est obligée, après avoir circulé sous les bouilleurs en *L*, de passer successivement dans les deux carnaux latéraux *f* et *k*. Quoique la forme de ces carnaux soit assez irrégulière, à cause de l'irrégularité des contours des bouilleurs et de la chaudière, il faut encore leur donner une section égale, leur faire suivre ces contours, et prendre à peu près leur forme, comme l'indique la ligne ponctuée *a a*, *fig. 5*, pour conserver toujours le même passage libre.

La chaudière à trois bouilleurs (*fig. 5, Pl. 1^{re}*), est supposée avoir 5 mètres de longueur. Les bouilleurs 0 m. 32 diamètre ou 1 mètre de circonférence ou 9 mètres de surface ensemble. La surface exposée au feu direct est égale au deux tiers de la surface totale des bouilleurs, soit 7 mètres carrés,

répondant à peu près à une surface totale de chauffe de 13 à 14 mètres carrés. Elle pourrait suffire à une machine de 12 chevaux, à moyenne pression, avec une consommation de 35 à 38 kil. de houille par heure. La cheminée devrait avoir 15 décimètres carrés de section, et la grille 45.

131. *Foyer qui enveloppe les bouilleurs.* Nous avons tracé (*Pl. 1^{re}, fig. 4*) une disposition de fourneau qui nous paraît très-bonne, sans que nous ayons pu encore vérifier par nous-même si elle est ou non supérieure à la disposition des *fig. 5, 6 et 7*. Les deux bouilleurs sont complètement enveloppés dans la flamme du foyer, et recouverts d'une voûte en briques réfractaires qui y réfléchit et concentre la chaleur. Au-dessus deux carnaux font circuler la fumée autour de la chaudière. Il est certain que la totalité de la surface des bouilleurs est chauffée directement; mais d'un côté leur partie supérieure, qui se couvre facilement de cendres, doit donner peu de travail réel; puis la brique doit détruire une portion de l'effet produit. Enfin, nous croyons les bouilleurs exposés à brûler plus facilement à leur partie supérieure, parce que la vapeur en s'y accumulant, en écarte l'eau, et la tôle n'étant plus refroidie rougit et brûle, puis cette disposition rend très-difficile l'établissement de deux carnaux de suffisante dimension autour du corps de la chaudière.

132. *Fourneau de chaudière à fond plat.* Pour construire le fourneau d'une chaudière à basse pression de forme carrée et légèrement concave en dessous (*Pl. 2, fig. 3, 4 et 5*), il faut se rappeler que chaque mètre carré de tôle ou de cuivre, exposé au feu direct, donne 72 k. de vapeur environ par heure pour une consommation de 12 k. de houille. La chaudière présente au feu une surface de 3 m. carrés; c'est une consommation de 36 k. de houille à l'heure, ou 40 k. par précaution, soit 13 1/2 décim. carrés; la grille G aura, comme nous l'avons dit, trois fois cette surface ou 40 décim. carrés.

133. La forme que nous avons donnée à la porte du fourneau *P* est avantageuse, en ce qu'elle évite la construction d'une porte en fonte, qui se fend trop souvent par l'effet de la chaleur; celle-ci est formée (*fig. 4*) d'une double voûte *G* en briques, dont l'une est établie sur l'autre comme l'entrée d'un four. On ferme ces fourneaux avec une plaque de vieille tôle, armée d'une poignée, et, si l'on craint qu'elle ne laisse entrer une trop grande quantité d'air dans le fourneau, on peut tenir cette porte fermée au moyen d'un arc-boutant en fer, semblable à ceux qui ferment les portes des cylindres à eau forte. Les barreaux de fer carrés *GG* sont employés sans préparation, et très-faciles à enlever. La disposition de ces barreaux sous la plaque de devant du foyer *C fig. 3* est celle des fours de forges. Nous l'avons vu employer avantageusement dans des fourneaux; car, elle offre des avantages marqués pour le nettoyage facile, ou le remplacement prompt en marchant d'un barreau brûlé. La fumée ne circule qu'une fois autour de la chaudière avant de se rendre dans la cheminée: On observera seulement, que le carneau *JJ* est obligé de se relever en *K*, en passant au-dessus de la porte *P* du fourneau, et que, comme il ne faut jamais chauffer la chaudière au-dessus du niveau *A* de l'eau qu'elle contient, pour ne la pas brûler, il est nécessaire d'augmenter la largeur de ce carneau, pour ne pas le faire monter plus haut; ainsi, en *K*, au lieu d'avoir 0 m. 55 sur 0 m. 25, il aura 0 m. 33 sur 0 m. 40. On voit, *fig. 3* et *4*, les regards *OO* réservés en face des carnaux pour leur nettoyage, et en *f* le chapeau *f* de tôle placé au-dessus de la cheminée, et scellé solidement dans une pierre de taille, afin que le vent ne puisse pas l'enlever.

134. Des Fourneaux destinés à brûler du bois, ou la tourbe. Quant aux fourneaux destinés à brûler du bois employé quelquefois au chauffage des chaudières de machines à vapeur, ou dans les évaporations, ce qui dépend du prix proportionnel des

divers combustibles dans la localité, M. Pécelet a réduit de moitié au moins, à produit de vapeur égal, la surface de la grille quand elle doit brûler du bois.

135. C'est en effet la proportion adoptée par M. Gros-Davilliers Roman et C^e, en conséquence de leurs expériences.

Ils ont remarqué que, quand on brûle du bois, l'air arrive dans la cheminée beaucoup plus complètement brûlé, et qu'au lieu de l'être à moitié, comme avec la houille, il l'est au moins aux deux tiers, de manière qu'il n'y reste plus que 7 ou même 5 0/0 d'oxygène libre. Il résulte de là plusieurs conséquences.

1^o Puisque l'air est plus complètement brûlé, on peut, avec la même section de cheminée et les mêmes carneaux, brûler en bois ou en tourbe une quantité proportionnelle un peu plus grande qu'en houille.

2^o Un fourneau dont les carneaux et la cheminée sont trop étroits donnent évidemment des résultats plus avantageux avec le bois qu'avec la houille.

3^o On peut donner aux carneaux destinés à brûler le bois et la tourbe, une section moindre que s'ils devaient servir à brûler la houille. Le rapport du pouvoir calorifique du bois à celui de la houille est à peu près, d'après les mêmes expériences, 1 à 2, 28, et les consommations proportionnelles sont inverses.

On a adopté à Wesserling, à la suite des expériences dont nous parlons, la proportion de 0 m. 80 de grille pour brûler avec un bon tirage 550 kil. de bois qui valent $\frac{110}{118}$ 153 kil. de houille.

136. *Dimensions adoptées par divers constructeurs.* D'après les données que nous avons plus haut adoptées, un fourneau capable de brûler 150 kil. de houille par heure, doit avoir :

Cheminées et carneaux,	0 m. e. 45
Grille, 0 m. 45 e. X 3,	1. 35

À Wesserling on a adopté 0 m. 80 ; c'est donc 60 0/0 de la grille

destinée à la houille. quand on a besoin d'une combustion active pour la production de la vapeur pour des calcinations, etc.

Mais, ainsi que nous l'avons dit, lorsque l'on a besoin d'une combustion plus lente, pour des *évaporations*, par exemple, on doit donner à la grille une surface égale à 3 et 4 fois la section des carneaux.

M. Grouvelle a construit et surveillé longtemps des fourneaux à bois, dans la grande saline de Briscous, près Bayonne; pour l'évaporation des eaux salées. Dans les deux fourneaux, qui donnaient les résultats les plus économiques. Le rapport des carneaux à la grille était 1 à 4 celui de la surface de chauffe à la grille était 18 ou 20 à 1. A Dieuze, les grilles sont au moins aussi larges par rapport aux carneaux; mais le rapport de la surface de chauffe des chaudières à la grille est beaucoup plus grand.

Dans la meilleure chaudière de Briscous, 1 k. de bois de chêne de 8 mois de coupe, vaporise 2 k. 33 d'eau. A Wesseling, la moyenne de la meilleure chaudière a donné avec du pin et du hêtre coupé de 15 mois et refendu de 6 à 9 mois 2 k. 72; résultats qui nous paraissent assez rapprochés.

137. *Disposition des foyers.* La condition la plus importante pour brûler du bois ou de la tourbe, est de donner au foyer beaucoup de hauteur et de capacité; car l'air passe plus facilement à travers le bois qu'à travers de la houille, et si la couche n'était pas plus épaisse, il n'y aurait de brûlé qu'une quantité d'air trop petite; puis ces combustibles ne soutiennent pas longtemps le feu, ainsi que le fait la houille. Le bois jette brusquement sa chaleur, et tombe rapidement: il est donc indispensable d'en accumuler une plus grande quantité dans le foyer; la flamme du bois est très-longue, elle a aussi besoin d'un espace assez grand pour se développer, se mêler à l'air, dégager toute sa chaleur et produire tout son effet utile. Pour cela, on donne aux foyers au moins

0 m. 50 à 0 m. 54 de hauteur jusqu'à la chaudière; quand la hauteur est trop grande, l'activité du travail de la chaudière en souffre, et ce qui le prouve, c'est que dans ce cas, les chaudières marchent mieux avec des fagots qu'avec du bois de corde, parce que leur flamme est plus longue, et la combustion plus instantanée. A Briscous, la distance de 0 m. 72 a dû être réduite à 0 m. 54 ou 0 m. 60; en la réduisant à 0 m. 35, qui convenait parfaitement pour la houille, on n'obtenait plus qu'une ébullition lente, difficile, une plus grande consommation, et un mauvais travail. La hauteur adoptée Wesserling est de 0 m. 80. Nous la croyons trop grande pour un foyer bien conduit. Ces habiles manufacturiers ont bien observé qu'avec de fortes charges de bois la distance de 0 m. 82 était plus avantageuse; et, il ressort de leurs expériences mêmes, que les produits sont plus avantageux avec des charges modérées, qu'avec de fortes charges de combustible; mais leurs expériences ont été faites avec du bois de hêtre et de sapin, coupé de 13 mois et fendu de 6 à 7 mois, par conséquent très-sec. A Briscous, au contraire, presque tout le bois brûlé est du chêne qui a 8 ou 10 mois ou un an de coupe, par conséquent, les conditions du combustible se rapprochent plus de celles de la houille; la grille a besoin d'être plus large, et la hauteur du foyer moindre.

138. *Proportions à adopter.* En combinant les résultats qui précèdent, nous trouverons aussi les règles à suivre pour la construction des fourneaux à brûler le bois ou la tourbe.

Un fourneau qui devra brûler 70 à 80 kil. de bois à l'heure, équivalant à 35 kil. de houille, aura une cheminée et des carreaux de 0 m. 10 c.

Pour produire de la vapeur ou tout autre travail demandant une combustion très-active, la grille aura, avec du sapin et du hêtre, deux fois; avec du chêne, trois fois la section des carreaux.

Pour des *évaporation* ou des combustions plus lentes ;

Avec sapin et hêtre, trois fois ;

Avec chêne, quatre fois la section des carneaux ;

La distance de la grille à la chaudière, ou la profondeur du foyer, sera :

Avec sapin et hêtre, pour des charges de 300 à 350 k. à l'heure. 0 m. 80

Pour des charges de 200 à 250 k. 0 65

Avec chêne. 0 54 — 0 m. 60

139. On doit toujours donner à la grille la *longueur du bois* employé dans la localité, pour le pouvoir ranger mieux et éviter tout sciage. Il faut dire cependant que la meilleur hauteur à donner à la grille doit être modifiée par la largeur de la chaudière. En effet, dans les fourneaux à évaporer les eaux salées à Dieuze, la grille, pour brûler de la houille, se trouve placée à 1 mètre au moins des chaudières. Cette disposition a sans doute pour objet de permettre une circulation et des réparations à faire sous ces chaudières ; mais il est positif que le travail en souffre. Cependant les résultats sont bons. Cela s'explique, à notre avis, par la très-grande largeur des chaudières qui ont jusqu'à 12 et 15 mètres de largeur, et qu'un foyer trop relevé ne chaufferait que sur une petite partie de la largeur, tandis que, placé à 1 m. ou 1 m. 30 de la chaudière, l'action du feu se porte de chaque côté à une grande distance. Quant au grand effet utile que l'on en obtient, il est dû, à ce que les chaudières ont une très-grande surface, et font proportionnellement peu de travail, et que l'évaporation se fait à une température bien au-dessous de l'ébullition.

Les dispositions et les proportions sont les mêmes pour l'emploi de la tourbe ; on doit seulement donner un peu plus de hauteur au passage sous la chaudière, parce que la tourbe produit beaucoup de cendres que le courant d'air y dépose toujours.

140. *Foyers à flamme renversée.* C'est une disposition toute différente des foyers destinés à brûler la houille ou le bois, dont nous devons parler : ce sont des foyers à flamme renversée, avec ou sans grille, employés jusqu'à présent exclusivement pour le chauffage de fours à poterie, porcelaine, etc., bien que nous soyons convaincus qu'ils peuvent être appliqués avec succès, même à la production de la vapeur.

Si, en effet, avec des dimensions bien proportionnées, comme nous les avons indiquées, on établit immédiatement à côté du foyer, et par-dessus l'autel, un carneau vertical qui descende d'abord de 1 m. ou 2, puis se relève pour se rendre dans une cheminée qui monte à plusieurs mètres au-dessus du foyer ; on conçoit sans peine, qu'une fois la cheminée échauffée, l'appel établi force la flamme du foyer à descendre dans le premier carneau, et à chauffer ainsi, en descendant, les objets soumis à son action.

141. *Foyers à flamme renversée sans grilles, alandiers.* Si, au lieu d'établir ainsi l'appel descendant par-dessus l'autel, on établissait le carneau descendant dessous la grille même, il est évident, que la flamme et toute l'action du combustible passeraient à travers la grille, pour se rendre dans la cheminée en descendant. Mais alors la grille rougirait et se détruirait en peu de moments. Lorsque l'on emploie des dispositions de ce genre, on est donc conduit forcément à supprimer les grilles. Nous donnons (*Pl. 1^{re}, fig. 6 et 7*), les dispositions employées pour la houille dans les fours à poterie, et pour le bois dans les fours à porcelaine ; les foyers ainsi disposés portent le nom d'*alandiers*.

142. *Alandiers à houille.* Le foyer est une simple capacité de briques réfractaires ayant une ouverture qui se rend dans le four, lequel sert évidemment de cheminée, et une autre ouverture supérieure qui laisse arriver sur le combustible l'air froid appelé par le tirage. Une porte mobile en carreaux, sert à

augmenter ou diminuer cette ouverture, et à régler ainsi l'arrivée de l'air, et par conséquent la quantité et l'activité de la combustion. Afin de pouvoir porter sur la partie inférieure de la masse de combustible, l'air dont elle peut avoir besoin, et pour enlever les cendres et les crasses que donne la houille, on réserve au cendrier une ouverture que l'on ferme avec des briques espacées et à claire-voie, et qui servent ainsi de grille; on les mure avec de la terre, pour chauffer ou ralentir la combustion. Dans ces foyers, il faut, pour bien fonctionner, employer nécessairement de grosse houille, afin de conserver entre les morceaux une circulation d'air suffisante.

143. *Alandiers au bois.* Dans les foyers à bois qui ne sont pas exposés à s'engorger, comme ceux à houille, par les crasses ou par le boursoufflement, le combustible ne se place pas dans une cavité réservée. On pose, par exemple, le bois en travers sur l'ouverture même par laquelle l'air et la flamme sont appelés. Cet air, traversant les couches de bois, entretient la combustion par leur surface inférieure, et à mesure que le bois se consume, on en charge par-dessus une nouvelle quantité. Ce qui, des cendres et résidus de charbon, n'est pas entraîné par le tirage, tombe dans le vide réservé au-dessous de ce foyer, et est enlevé par une porte, après un certain temps d'opération. Le tirage dans les fours à porcelaine est si puissant, que l'on pose la main sur la masse de bois qui est en dessous en pleine combustion, sans éprouver aucune sensation de chaleur. Ces foyers ont d'abord l'avantage de ne pas brûler de grille; ils se conduisent très-facilement, et permettent de modifier dans de très-grandes limites les proportions d'air que l'on y reçoit, et par conséquent le mode de combustion, puisque, avec la houille, on peut ou laisser affluer l'air par le haut et par le bas, afin d'avoir une combustion intense et sans fumée, ou bien brûler presque à combustion étouffée et priver la houille d'air pour forcer la flamme à s'allonger et à

chauffer le haut du four, tours de main que ne permet pas une grille, qui rougit et se brûle dès que l'on ralentit le tirage.

144. *Fours Selligue pour la fabrication du gaz à l'eau.* Employée à chauffer en descendant des retortes verticales, comme l'a fait M. Selligue dans ses beaux fourneaux à fabriquer le gaz à l'eau, la flamme renversée donne, à une grande hauteur, un chauffage parfaitement égal, ce que l'on n'obtiendrait que très-difficilement par tout autre procédé, et l'utilisation de la chaleur y est facile, car la partie la plus chaude d'un courant de flamme, occupe toujours, par sa plus grande légèreté, les parties supérieures, et est peu en contact avec des surfaces latérales, comme nous l'avons dit; mais ici le courant étant vertical et descendant, toute la puissance de la chaleur tend à s'échapper par le haut, et par conséquent en résistant à l'appel de la cheminée, doit s'échapper par les côtés et donner un excellent chauffage pour des surfaces verticales. Le calcul de leurs dimensions est le même.

145. *Fourneaux au-dessous du niveau de la machine.* Il nous reste à ajouter maintenant, pour compléter les notions générales, nécessaires à la construction des fourneaux, particulièrement de ceux destinés à produire de la vapeur, que l'on doit avoir soin de les placer à 0 m. 60 au-dessous du niveau inférieur du cylindre de la machine, parce que l'eau condensée dans la chemise, quand la machine en possède une, retourne plus facilement à la chaudière; puis, surtout, parce que la vapeur, soit dans ses bouillonnements subits, soit par sa marche régulière, quand elle est abondamment fournie, entraîne souvent avec elle de l'eau chargée de dépôts, et peut les porter jusque dans les tiroirs et les cylindres; ce qui arrive d'autant plus fréquemment, que la machine est moins élevée au-dessus de sa chaudière.

146. *Fourneaux enterrés.* Il est bon aussi d'enterrer les fourneaux; ils occupent moins de place, conservent mieux

leur chaleur, et, s'il arrivait un accident, les résultats en seraient certainement moins graves. En même temps, on évite ainsi l'obligation de leur donner des parois très-épaisses et de les charger de ferrures, puisqu'ils sont maintenus par la terre qui les enveloppe; car les fourneaux construits autour des chaudières, se fendent toujours par suite de l'action de la chaleur et de la dilatation du métal, s'ils ne sont pas reliés par des montants en fonte et des tirants en fer, ou pris entre deux murs. (*Pl. I., fig. 3.*)

147. *Surveillance des constructions de fourneaux.* Nous ne saurions recommander trop positivement aux manufacturiers qui font construire des fourneaux, de surveiller les ouvriers chargés de ce travail; en premier lieu, parce que ordinairement ils n'attachent aucune importance aux dimensions des carneaux, et que l'on s'exposerait souvent, après la construction du fourneau, à le voir manquer et privé d'un tirage vif, sans en connaître la raison, et que jamais nous n'avons rencontré un maçon qui, quand il était gêné sur un sens pour établir ses carneaux, ne se hâtât de les étrangler, sans penser à regagner sur une dimension, ce qu'il perdait sur l'autre; en second lieu, parce que, si les cloisons que l'on y construit, ne sont pas solidement établies, elles peuvent tomber, changer ainsi le cours de la flamme et de la fumée, la porter quelquefois directement sur le corps de la chaudière et la brûler; c'est presque la seule cause de brûlure ou d'usure du corps des chaudières, dont les bouilleurs seuls doivent recevoir l'action directe du feu; on s'aperçoit alors d'un changement considérable dans le tirage du fourneau: car si la cloison démolie a obstrué un des carneaux, le tirage est gêné; et si la chaudière se fend, une grande partie de la chaleur du feu est employée à vaporiser l'eau qui s'écoule, et il devient impossible de faire monter la vapeur à sa tension ordinaire. Ce dernier signe est tellement important, que, dès qu'on voit

la vapeur monter difficilement, il faut arrêter la machine, parce que inévitablement la chaudière ou le bouilleur sont déchirés, ou ils sont tellement engorgés de dépôts, qu'ils exigent un nettoyage immédiat.

GÉNÉRATEURS A FOYERS INTÉRIEURS.

148. *Leurs plus importants emplois.* Nous réunissons dans un seul chapitre ce qui concerne les générateurs à foyers intérieurs, c'est-à-dire où la chaudière elle-même sert en même temps de fourneau. Pour les comprendre et les étudier, il fallait connaître les principes de construction de ces deux parties distinctes des appareils à vapeur. La plupart des ingénieurs qui ont cherché des améliorations à la construction des chaudières, ont cru les obtenir en enveloppant complètement le foyer de métal refroidi par l'eau, et faisant circuler la fumée au milieu de l'eau, entre des surfaces multipliées et compliquées, jusqu'à ce qu'elle soit entièrement refroidie. Nous dirons quelques mots sur le meilleur des appareils de cet ordre, celui de Lemare; puis nous entrerons dans des détails plus complets sur deux systèmes spéciaux qui ont d'immenses applications, les chaudières des bateaux à vapeur et celles des locomotives.

149. *Foyers au centre de la masse d'eau.* La pensée de porter le foyer embrasé au centre même de la masse d'eau, de manière à l'en entourer et à recueillir de toute part la chaleur dégagée, a dû se présenter bien souvent à l'imagination des constructeurs; mais si l'on a bien saisi les principes posés, et si l'on se rend un compte exact de ce qui se passe en pareil cas, on reconnaîtra bien vite que cette disposition ne présente pas d'avantages. Et, en effet, l'expérience a parlé, et partout où le poids des fourneaux en briques n'est pas un obstacle

absolu à leur emploi, on a adopté, et on emploie les chaudières métalliques enveloppées de foyers et de carreaux en briques.

Nous avons déjà dit que plus de moitié de la surface de chauffe d'un générateur devait être exposée à l'action directe et verticale *du feu*, et que la majeure partie de l'effet utile se produisait sur cette surface.

Or, le diamètre extérieur que l'on peut donner à une chaudière étant limité, et ne pouvant guère dépasser 1 mètre, il est évident que le diamètre du cylindre intérieur qui contient le foyer, et par conséquent la surface exposée directement, ne peuvent être que fort réduits. De plus, cette surface, au lieu d'être placée à peu près horizontalement au-dessus du foyer, l'enveloppe latéralement, et ne reçoit par conséquent son action que d'une manière indirecte et désavantageuse, comme nous l'avons dit. Il n'y a même que la moitié supérieure de ce cylindre qui puisse être considérée comme surface de chauffe; car toute la partie inférieure, placée au-dessous des courants, ne chaufferait pas, quand même elle ne serait pas couverte immédiatement de cendre et de suie. Pour compenser ces désavantages, on est obligé de multiplier les circulations de fumée à travers l'eau, et alors le rapport entre la surface directe et la surface indirecte est moins avantageux.

D'autres inconvénients sont attachés à ces dispositions.

On a également reconnu, que la combustion souffrait toujours du contact d'une surface métallique sans cesse refroidie extérieurement par de l'eau.

150. *Foyer pour chauffage d'eau où le feu s'éteignait.* Nous avons été appelés à donner notre avis sur les causes qui empêchaient de fonctionner un foyer de ce genre, placé dans une chaudière destinée à chauffer de l'eau pour des bains, et où il était presque impossible d'allumer le feu qui s'éteignait constamment. Nous avons reconnu que ce foyer réunissait les trois

plus grands défauts de ce système : foyer trop petit et refroidi par le contact constant de l'alimentation abondante de la chaudière; carneaux trop étroits, et circulation de fumée trop longue. Le remède était simple : c'était le remplacement complet de l'appareil par un autre, avec des dimensions et des dispositions différentes.

151. *Dangers du refroidissement des foyers.* Pour que le combustible et sa flamme brûlent complètement, et avec toute l'activité nécessaire à un grand effet utile, il faut que les parois du foyer puissent arriver à la même température que le combustible enflammé. Dans les foyers intérieurs, la combustion n'est pas aussi bonne, à moins qu'on n'en garnisse les parois avec de la brique, ce qui alors est contraire au principe même que le constructeur s'est posé. Il est évident que plus le foyer sera grand, et plus sera grande la quantité de combustible enflammé à la fois, moins ce défaut sera nuisible (183). La fumée, en contact constant et trop prolongé avec une surface refroidie; y dépose rapidement une couche de suie, qui s'oppose au passage de la chaleur, et si, pour mieux utiliser cette chaleur, on multiplie les surfaces, de manière à refroidir la fumée au-dessous de 250° et 300°, alors, ce qui est plus grave encore, le tirage est ralenti, la combustion devient paresseuse et mauvaise, et l'effet utile du combustible est notablement réduit; c'est ensuite une conséquence inévitable de ces longues circulations intérieures, que la complication des formes, les difficultés d'exécution, et surtout de nettoyage et de réparations; défauts si graves qu'ils entraînent l'exclusion immédiate des ateliers.

152. *Générateur de Lemare.* Nous avons déjà dit que, dans ces dispositions, la pression de la vapeur s'exerçait du dehors au dedans sur le cylindre qui enveloppe le foyer, et que la résistance d'un cylindre à une pression extérieure, est bien loin d'être aussi grande qu'à des pressions intérieures; il faut

alors, comme l'a fait Lemare, augmenter l'épaisseur des parois, et perdre une bonne partie des avantages économiques que l'on s'était proposés.

153. Toutes les observations qui précèdent s'appliquent au générateur de Lemare, ce génie si actif en conception, si rapide en exécution, et pourtant si puissant en persévérance, qu'il n'a jamais quitté un outil sans l'avoir amené à sa perfection. Lemare avait compris les défauts du système dont il s'exagérait les avantages; il a employé toutes ses ressources à les combattre, et je ne crois pas qu'aucun appareil de ce genre soit aussi ingénieusement combiné, et ait donné d'aussi bons résultats, puisque, dans des expériences de quelques heures, la quantité de vapeur développée a été estimée à 8 et 9 k. pour 1 de houille; mais il y a toujours loin de ces produits à ceux de la pratique, et cet appareil, qui ne pouvait en tout cas être employé que sur de petites dimensions, n'a eu que peu d'applications; nous en donnons un tracé: le principe en est un foyer entouré d'eau, et des enveloppes concentriques qui multiplient les contacts de l'eau et de la fumée, de telle façon que celle-ci sort presque refroidie (*Pl. 10, fig. 11 et 12*).

154. *Chaudière de M. Beslay.* Un appareil récemment proposé par M. Beslay, consiste en une cornue verticale placée au centre du foyer et de la cheminée; nous ne voyons aucun avantage à cette disposition, pas même celui d'augmenter la proportion relative de la surface de chauffe à la surface totale; car il faut toujours avoir des réservoirs de vapeur, que le feu ne puisse pas brûler, puis l'action du feu se porte en bonne partie sur les parois du fourneau, et n'agit que latéralement sur les parois verticales de la chaudière; puis la flamme et la fumée ne sont en contact avec la chaudière que sur une trop petite longueur; et, avec des combustibles à longue flamme, on n'obtiendra que de très-mauvais résultats: ceux à courte

flamme ne donneront pas plus avec ces appareils, qu'avec des chaudières à bouilleurs bien disposées.

155. *Générateur de M. le baron Séguier.* M. le baron Séguier a fait des expériences répétées sur un appareil composé de tuyaux qu'il a eu l'heureuse pensée de chauffer à flamme renversée, en y faisant circuler l'eau en sens contraire de la fumée; mais, en résultat définitif, cet appareil, très-ingéniusement conçu, est arrivé à 6 1/2 k. de vapeur pour 1 k. de houille, c'est-à-dire où l'on est arrivé avec des chaudières et des fourneaux ordinaires bien proportionnés; et toutes les fois que M. Séguier a voulu utiliser mieux la chaleur perdue, en augmentant la surface de chauffe, il a altéré le tirage.

156. *Inventions de toute nature sur le même objet.* Tous les jours, en Angleterre et en France, des brevets sont pris pour des appareils de ce genre, et il est à regretter que ce soit inévitablement du temps et de l'argent perdu. Nous reviendrons, avant de quitter la question des fourneaux, sur les moyens d'un ordre tout différent, qui permettent d'utiliser cette chaleur perdue sans nuire au tirage (230).

INCRUSTATIONS ET NETOYAGE DES CHAUDIÈRES.

157. *Moyens d'empêcher l'incrustation des chaudières, et les accidents qui en résultent.* Toutes les eaux employées à l'alimentation des générateurs, contiennent, en plus ou moins grande quantité, des sels terreux, qui se déposent par l'évaporation; et se roulent quelquefois en boules. Quand on néglige de nettoyer les chaudières, après un cours suffisant de travail, les sels déposés s'attachent aux parois inférieures, c'est-à-dire, à celles positivement qui reçoivent l'action directe du feu; il se forme des croûtes épaisses, qui s'opposent à la prompté transmission de la chaleur, augmentent la dépense de combustible, et sous ces croûtes, le métal

n'étant plus refroidi par l'eau, rougit et brûle. Ces dépôts sont surtout considérables sur mer.

158. *Fréquence des netoyages.* Il est donc indispensable avant tout de régler la fréquence des netoyages, sur le plus ou moins de pureté de l'eau. Avec des eaux ordinaires, comme celles de la Seine, un netoyage par mois est suffisant. Dans quelques lieux, comme à la fonderie de canons de Liège, par exemple, il faut netoyer après quelques jours de marche; car on distingue, sans peine, la croûte formée dans les vingt-quatre heures. Pour que ce netoyage puisse être fait avec soin, sans interruption de travail, on doit toujours avoir une chaudière de supplément, et on en change chaque mois. On ouvre alors les bouilleurs; on en vide l'eau; on en détache, à coups de marteau, les dépôts terreux, et on les lave avec soin.

159. *Tuyau plongeur, destiné à enlever une partie des dépôts en marchant.* Bien des procédés ont été essayés pour diminuer ou empêcher l'incrustation des chaudières: il en est un qui permet d'enlever une partie des dépôts en travaillant, et qui est fort bon. Il consiste à établir sur la chaudière un tube de 0 m. 04 diamètre, avec robinet, qui se rend jusqu'au dehors de l'établissement. Ce tube pénètre dans le générateur, et va, en se bifurquant, plonger jusqu'au fond des deux bouilleurs.

On prend le moment où, le travail de la journée étant fini, et le feu éteint, il n'y a plus d'ébullition dans la chaudière, et où les dépôts peuvent se rassembler au bas des bouilleurs: Au bout d'une heure de repos, avant que la vapeur soit complètement tombée, on ouvre le robinet extérieur de ce tube: la pression intérieure chasse avec violence, au dehors, toute la portion d'eau qui se trouve au bout du tuyau plongeur, et celle-ci entraîne les dépôts qui se sont rassemblés au fond des bouilleurs. En renouvelant cette opération facile

une fois par semaine, on réduit de beaucoup la quantité des dépôts formés entre deux nétoyages.

160. *Le même procédé employé à bord des steamers qui naviguent sur eau salée.* Ce procédé est employé à bord des steamers, pour le même objet; mais surtout pour évacuer une partie de l'eau saturée de sel marin, qui a travaillé dans la chaudière, et la remplacer par de l'eau moins salée; on s'oppose ainsi aux dépôts de sel, et à l'incrustation trop rapide des générateurs. Il est évident que cette évacuation d'une partie des dépôts, ne peut pas enlever les croûtes qui se forment; mais seulement en diminuer la quantité. Il n'en faut donc pas moins ouvrir et battre les chaudières à des intervalles réglés.

Quelques manufacturiers se servent du même procédé pour vider les chaudières, pendant qu'elles contiennent encore de la vapeur, en arrêtant la veille du nétoyage. Nous dirons, plus loin, en quoi cette méthode est très-mauvaise (170).

161. *Machine à nétoyer d'Anthony Scott.* Mais le procédé qui, en Angleterre, paraît être adopté avec le plus de succès, est celui d'Anthony Scott, qui consiste à placer dans l'eau du générateur un vase d'étain ou de bois suspendu, et plus étroit à l'entrée qu'au fond. Tous les dépôts qui se forment dans la chaudière sont renvoyés par l'ébullition dans ce vase, et on les enlève, soit en ouvrant la chaudière pour la nétoyer, soit au moyen du tube plongeur que nous avons décrit (159), et que l'on fait descendre dans le fond de ce vase, pour en chasser, par la pression de la vapeur, tous les dépôts réunis. Cet appareil, nommé *machine à nétoyer*, peut être d'une grande utilité à bord des steamers.

162. *Emploi des pommes de terre contre les incrustations.* Pendant longtemps on a pris soin de jeter dans les chaudières, avant de les mettre en travail, des pommes de terre ou autres

matières amilacées : les sons gras quelquefois employés, ont le grand défaut de former des dépôts qui se calcinent, et exposent les chaudières à brûler aussi. Dans ce procédé importé d'Angleterre, et où il est toujours employé avec grand avantage, surtout dans le Lancashire, l'amidon se répand à travers le liquide, en particules très-ténues, se mêle intimement aux sels terreux, les enveloppe à mesure qu'ils se précipitent, empêche leur adhérence et la formation des croûtes, et les force à rester en bouillie dans l'eau avec laquelle ils partent quand on nétoie les chaudières. Il faut jeter, dans une chaudière de 15 chevaux, que l'on nétoie tous les mois, 8 ou 10 litres de pommes de terre. On se contente aussi de mettre les pommes de terre entières dans une cage plongée dans l'eau de la chaudière, ce qu'on fait surtout quand on emploie en même temps la machine à nétoyer.

163. Quelque ingénieurs ont paru craindre que ces matières amilacées ne rendissent l'eau de la chaudière visqueuse et disposée à monter par le bouillon jusque dans les cylindres. C'est à mon avis une erreur : en premier lieu, l'eau qui reste dans un générateur après une évaporation continue d'un mois, ne contient pas une trace de sels terreux, ni même de sels solubles, et elle a la densité de l'eau distillée : tout, en un mot, est précipité : et la présence des pommes de terre à haute dose, la laisse parfaitement fluide et pure ; l'amidon se trouve très-probablement en combinaison chimique dans le résidu terreux et pulvérulent. Une partie de ces matières est inévitablement entraînée par la vapeur, comme toutes les substances que contiennent les chaudières ; mais celles-ci, au moins, ne peuvent pas user les tiroirs et les pistons, mais bien les encrasser légèrement. Nous regardons toujours l'emploi de la pomme de terre comme un très-bon procédé. Disons toutefois que la dépense et l'encombrement de l'approvisionnement né-

cessaire, y ont fait renoncer sur les bateaux de la marine de l'État.

164. *Emploi du verre pilé.* On a proposé en Belgique l'emploi du verre pilé pour le même objet. Et en effet, l'incrustation des chaudières était ainsi arrêtée, comme par toutes les substances pulvérulentes qui pourront s'interposer dans les dépôts sans y faire corps. Mais on a reconnu bien vite que la poudre de verre est entraînée rapidement dans les boîtes de distribution et dans les cylindres, qu'elle les use, comme si on y jetait de l'émeri, et on l'a abandonnée.

165. *Plombagine et suif, substances gélatineuses.* On n'a obtenu aucun résultat en enduisant les chaudières avec de la graisse mêlée de plombagine, bien que quelques officiers de la marine royale donnent encore leur approbation à ce procédé. Les matières animales et gélatineuses préviennent, dit-on, très-bien les incrustations, et paraissent employées en Angleterre.

166. *Argile.* Des expériences nombreuses ont été faites depuis dix ans par la Société d'encouragement, par la marine, et plusieurs établissements de l'État, sur l'emploi de l'argile, proposé en 1836 par M. Chaix, mais qui l'avait été déjà en 1824 par M. Pelouze père. Ces expériences ont donné de très-bons résultats à la Société d'encouragement et à la marine qui s'en est servie contre les dépôts de sels, et beaucoup de manufactures l'ont adopté. La quantité employée doit être d'environ 1 k. par force de cheval avec l'eau de mer. Elle ne conserve pas sa puissance pendant plus de quinze jours de service actif. Il faut la renouveler fréquemment. On a depuis long-temps remarqué que l'eau d'alimentation qui n'était pas filtrée à l'avance, donnait dans les générateurs moins de croûtes adhérentes qu'après la filtration : ce qui est dû sans doute au léger dépôt terreux et aux matières végétales qu'elle tient en suspension.

167. *Ses inconvénients.* L'argile est certainement plus économique que l'emploi de la pomme de terre; mais elle présente les défauts de tous les autres procédés. Une partie, emportée par la vapeur, encrasse et fatigue les tiroirs et les pistons. Il s'en dépose des masses dans le tuyau conducteur de vapeur, et si l'on n'a pas la précaution de jeter l'argile délayée dans le générateur, au moment seul où il est prêt à entrer en ébullition, pour qu'elle ne s'attache pas au fond, et surtout de ne pas la laisser déposer, avant qu'il y ait eu évaporation et formation de dépôt pulvérulent; on est certain que l'argile elle-même, comme le verre pilé, et encore plus que la pomme de terre, formera une croûte, et que la chaudière sera brûlée.

168. *Bon emploi sur mer.* C'est cependant le meilleur procédé à employer sur mer, parce que là les dépôts de sel sont si considérables, que l'on passe par dessus les inconvénients d'un procédé qui les empêche sûrement. M. le major Poussin a constaté la bonté de ses résultats, et c'est un bon juge.

169. *Nétoyage régulier des chaudières.* Que si l'on nous demande quel est, tout compensé, le meilleur procédé à adopter, nous répondrons qu'avec des eaux trop fortement chargées de sels calcaires, il faut employer ou l'argile ou la pomme de terre, selon les localités; tandis qu'avec des eaux d'une qualité ordinaire, il suffit de prendre les précautions que nous allons indiquer pour le nétoyage, et que l'on peut alors éviter complètement tout emploi de matières étrangères, sans avoir à craindre de dépôts.

Supposons le travail de la chaudière réglé à un mois: à la fin du mois, on allume le second fourneau, et on laisse refroidir pendant 7 ou 8 jours la chaudière à nétoyer, de manière à ne la vider que quand l'eau qu'elle contient et le fourneau sont complètement froids. En ouvrant alors la chaudière, on trouve le dépôt pulvérulent rassemblé dans le bouilleur,

sans y avoir formé aucune croûte adhérente, comme si on y avait ajouté des pommes de terre ou de l'argile; on lave à grande eau, on râcle même la chaudière avec un grattoir double à long manche, dont les deux branches sont légèrement forcées à leur entrée dans le bouilleur, et font par conséquent ressort contre ses parois intérieures. Après ce grattage, on y passe un balai circulaire, du diamètre du tube, avec de l'eau en abondance, et les chaudières sont alors parfaitement propres. Jamais un manufacturier ne doit laisser fermer une chaudière sans l'avoir visitée lui-même, en y introduisant une chandelle qui doit montrer le métal bien net.

170. *Ne vider la chaudière que froide.* Si, au contraire, on vide la chaudière chaude, il est évident que la chaleur du fourneau, encore rouge, évapore en peu d'instans la petite quantité d'eau boueuse, sèche complètement et calcine les dépôts qui étaient adhérents en bouillie aux parois des tubes, et les y fixe si fortement qu'on ne les peut arracher qu'avec le ciseau et le marteau. M. Crepet, filateur à Rouen, à qui nous devons ces observations, trouve à la fin du mois ses bouilleurs à moitié remplis de dépôts terreux; mais avec les précautions que nous avons indiquées, pas une trace de ces dépôts, n'adhère aux parois métalliques, sans qu'il emploie ni pommes de terre ni argile.

171. *Procédé expéditif pour vider une chaudière.* Lorsque cependant on ne peut pas laisser refroidir complètement le fourneau et la chaudière, il faut au moins attendre vingt-quatre heures, puis on ouvre le trou d'homme. On introduit alternativement dans chaque bouilleur une petite pompe à main, avec laquelle on vide la chaudière seulement jusqu'à l'entrée des bouilleurs; on remplit alors la chaudière d'eau froide, en ayant soin de la faire arriver par le fond des deux bouilleurs, au moyen d'un tuyau plongeur; puis on vide de nouveau avec la pompe; en renouvelant cette opération deux

ou trois fois, et lavant rapidement les bouilleurs à grande eau, au moment où, après le dernier puisage, on en ouvre les tampons, on parvient à éviter à peu près complètement les incrustations. Cette opération est assez longue; mais beaucoup moins que le battage de deux bouilleurs.

Il est cependant des eaux qui, avec toutes ces précautions, donnent encore des croûtes terreuses; pour les enlever, on fait entrer un enfant dans le bouilleur, en ayant soin de l'attacher par les pieds, afin de le pouvoir retirer s'il venait par accident à perdre connaissance. On donne en général aujourd'hui aux bouilleurs assez de diamètre pour qu'un enfant y pénètre sans peine: à 0 m. 44, c'est chose facile; si les bouilleurs avaient moins de 0 m. 40, il faudrait les battre avec un marteau placé au bout d'un long manche, et que l'on met en mouvement à l'aide d'une corde. Nous insistons longuement sur ce nettoyage, parce que aucun soin de conduite n'est plus important.

172. *Nettoyage des chaudières et tuyaux par l'acide chlorhydrique (muriatique).* Ce procédé qui est dû à M. d'Arcet, comme son application au dégorgement des conduites d'eau, étant dans beaucoup de cas supérieur à tous les autres, par la facilité, la rapidité et la certitude de l'opération, nous le développerons avec quelques détails.

Les dépôts des chaudières à vapeur, sont formés des sels insolubles et solubles que contient l'eau employée à l'alimentation, et qui se précipitent tous ensemble. Les seuls qui soient abondants, sont le sulfate et le carbonate de chaux (le plâtre et la craie).

Quand le dépôt est entièrement formé de sulfate de chaux, il est très-dur, n'entraîne pas d'eau de cristallisation, et adhère fortement aux chaudières. L'acide chlorhydrique ne pouvant pas le dissoudre, il faut l'enlever par un moyen méca-

nique, à petits coups de marteau, comme nous l'avons dit pour tous les dépôts.

Mais si l'eau ne contient que du carbonate de chaux, ou au moins du sulfate mêlé de carbonate de chaux, le dépôt, qui souvent même forme une bouillie au fond de la chaudière, et peut être enlevé par un simple lavage, sera en tout cas attaqué par l'acide chlorhydrique, qui dissoudra le carbonate de chaux, et désagrègera le sulfate; de sorte qu'en balayant et lavant la chaudière, on enlèvera le tout. Si la quantité de sulfate était trop grande, par rapport à celle du carbonate, pour que le dépôt compact et attaché à la chaudière, fût attaqué et désagrégé par l'acide, il faudrait employer tous les moyens réunis, l'acide et le marteau. Supposons donc que le dépôt est attaquant par l'acide chlorhydrique, et traçons la marche du procédé. On doit avoir essayé d'avance dans un verre, si le dépôt que l'on couvre d'un excès d'acide, est ou non altérable par l'acide: et même, si on le peut, examiner combien il faut d'acide pour attaquer complètement ce dépôt. Au reste deux ou trois netoyages faits à des époques régulières, et en pesant l'acide employé à chaque opération, serviront facilement de guide. Ainsi le netoyage d'une chaudière, quand le dépôt contient assez de carbonate de chaux, pour que sa dissolution laisse le sulfate de chaux désagréé et pulvérulent, ce netoyage, disons-nous, consiste simplement à ouvrir la chaudière le samedi soir, quand on arrête l'atelier, à y verser par parties, et à mesure que le bouillonnement s'apaise, de l'acide chlorhydrique, jusqu'à ce qu'il y en ait un excès marqué, et que l'eau rougisso le papier de tournesol et le sirop de violettes; puis à agiter fortement le tout avec un bâton. Le fourneau étant encore très-chaud, l'action est vive et rapide; tout le dépôt se dissout ou se délaye, et le lendemain matin, si l'on a employé assez d'acide, il suffit de vider, balayer et laver la chaudière: elle est remise à neuf.

Si l'on connaît la quantité de sels insolubles contenus dans les eaux que l'on emploie, comme dans les eaux de la Seine, de Belleville, d'Arcueil qui ont été analysées, il sera facile de déterminer d'avance la quantité d'acide nécessaire à la dissolution du dépôt. Un essai donnera immédiatement la quantité d'eau évaporée par jour, et par conséquent la quantité totale de dépôt formée à l'époque de chaque nettoyage, et l'on en déduira le poids de l'acide chlorhydrique à y ajouter. Nous avons donné dans les notes les éléments de ce calcul (note 3^{me}).

173. *Influence des dépôts.* On ne saurait trop recommander le nettoyage fréquent des chaudières et des tubes : les dépôts qui s'y forment sont presque toujours la cause des accidents fréquents et coûteux qu'ils éprouvent ; cette précaution suffit ordinairement pour les prévenir. Les matières terreuses qui s'amassent dans la chaudière et dans les tubes, épaississent l'eau, rendent son ébullition difficile ; on est donc obligé de faire un feu très-violent, qui rougit les bouilleurs, et ne peut tarder à les brûler. Jusque-là, la machine devient lourde, parce que la chaudière ne fournit plus assez de vapeur, et l'influence de ces dépôts sur la quantité de vapeur produite et de combustible consommé est si grande, que dans les premiers jours qui suivent un nettoyage, la consommation de combustible se trouve réduite de 8 ou 10 pour 100. En outre, une grande quantité de terre, salit à chaque instant les soupapes de sûreté, et est entraînée jusqu'à dans les cylindres et sur les pistons ; de sorte qu'un nettoyage immédiat est aussi important pour la machine que pour la chaudière elle-même : elles se détériorent aussi vite l'une que l'autre.

174. *Dépôts formés en un mois.* Une chaudière de 10 chevaux, qui produit en vingt-quatre heures 3,600 kil. de vapeur, donnerait par jour 600 grammes de dépôt, en la supposant alimentée par de l'eau aussi pure que l'eau de Seine. Après

un mois de travail, le dépôt serait donc de 16 kil. environ, et cette quantité est déjà dangereuse. Mais la plupart du temps, l'eau que l'on emploie contient 10 ou 15 fois plus de dépôt terreux que les eaux de la Seine. La quantité de dépôt formée au bout du mois serait donc proportionnelle.

DES FOYERS DITS FUMIVORES.

175. *Causes de la fumée.* Nous devons dire un mot sur cette question, à laquelle on a pendant long-temps attaché une trop haute importance. Lorsque l'on brûle sur une grille un combustible surchargé de goudron et de carbone, une partie de ce carbone mêlé à une petite quantité d'huile volatile décomposée, se dégage en échappant à la combustion, et produit une *fumée noire*. Moins on jettera d'air sur une quantité donnée de combustible, moins la combustion sera complète, et plus il se produira de fumée; et plus, en conservant la même température de combustion, on enverra d'air sur le combustible, plus la combustion sera complète et la *fumée brûlée*. Or, pendant long-temps, les proportions beaucoup trop petites de carneaux, importées par les constructeurs anglais pour les fourneaux à vapeur, ont donné un mauvais tirage, fourni trop peu d'air à la combustion du foyer, et dégagé par conséquent une épaisse fumée.

176. Cet inconvénient a été bientôt reconnu. D'un côté les manufacturiers ont cru trouver alors une économie importante de combustible dans la suppression de cette fumée, et de l'autre part les administrations des grandes villes manufacturières, jalouses, avec raison, d'éviter à leurs administrés les inconvénients de ces flots de fumée, ont demandé partout des appareils fumivores.

177. *Fourneau fumivore de Lefroy.* Au milieu de beaucoup d'essais, celui de M. Lefroy est sans contredit le plus remar-

quable; en ce qu'il résout complètement la question, et supprime à volonté toute la fumée d'un foyer. Son principe est :
1° De brûler la houille, dans les conditions les plus avantageuses à la combustion, sous une voûte en briques et sans refroidissement;

2° De forcer la flamme à passer dans un étranglement;

3° D'y mêler, dans cet étranglement même, c'est-à-dire, au point où la température est la plus élevée, une quantité d'air extérieur, suffisante pour brûler complètement la fumée; résultat qu'il obtient avec certitude et à volonté.

La flamme, ainsi brûlée complètement, doit passer ensuite sous les appareils où elle doit agir, et notamment sous des chaudières à vapeur.

La quantité d'air à injecter, devant varier avec la charge de houille, un registre la règle, et c'est celui que le chauffeur manœuvre en deux temps, à chaque charge qu'il porte sur la grille.

178. *Ses résultats.* En pratique, ce procédé si remarquable, n'a donné aucun bon résultat. La flamme ainsi concentrée à une température très-haute, accrue encore par l'injection de l'air, qui en achevait la combustion, agissait sur les chaudières, comme le dard d'un chalumeau, et les brûlait rapidement; puis la manœuvre des registres était fatigante et impossible à obtenir du chauffeur.

179. *Perte donnée par les appareils fumivores.* En résultat définitif, on a reconnu que la quantité de charbon perdue avec la fumée est généralement peu appréciable; que loin d'obtenir une économie importante, avec un fourneau à procédé fumivore, comparé à un fourneau ordinaire bien construit, on trouve, au contraire, une légère augmentation de dépense de combustible: ce qui est dû à ce qu'il faut, pour obtenir cette *fumivorité* complète, faire passer dans le foyer une trop grande quantité d'air, qui emporte, en s'échap-

pant, 400 ou 500° de température, c'est-à-dire plus de chaleur que n'en donne la combustion de la plus dense fumée.

180. *Moyens d'atteindre le but proposé.* On a, aujourd'hui, complètement renoncé à ces appareils. On se contente d'établir, sous les chaudières, des passages qui donnent une quantité d'air moyenne, par rapport au combustible; de sorte que le foyer ne produise de fumée qu'au moment où on y charge de la houille fraîche (81. *Conduite du feu*).

FOYERS A ALIMENTATION CONTINUE.

181. *Foyers à grille tournante.* Ces foyers ont été combinés aussi dans un but fumivore; et pour éviter la nécessité d'ouvrir la porte du fourneau, toutes les fois qu'il y faut introduire une nouvelle quantité de combustible; ce qui laisse entrer trop d'air dans le foyer; et refroidit la chaudière, assez pour que, dans la grande saline de Briscous, chauffée au bois, l'ouverture de la porte arrêtât presque entièrement l'ébullition de ce côté de la chaudière. Pour alimenter les foyers d'une manière continue, régulière et sans ouvrir les portes, on a employé deux moyens.

L'un consistait à établir des grilles circulaires, fixées sur un axe vertical, conduit par des engrenages; au-dessus de ces grilles se trouvait un appareil distributeur; composé d'une trémie et de deux cylindres cannelés, destinés à écraser la houille, et à la verser constamment et régulièrement sur la grille. Au lieu de grilles tournantes qui, outre l'emploi de beaucoup de force, s'usaient très-rapidement par le frottement des cendres, et coûtaient beaucoup d'entretien, on a employé des grilles fixes, sur lesquelles un moulinet à quatre ailettes, projette et disperse la houille, fournie par une noix en fonte, placée au fond d'une trémie que l'on entretient toujours pleine.

182. Résultats. On a obtenu, par ce moyen, une grande régularité de combustion, et on prétend même avoir atteint une économie de 12 à 15 p. 0/0 dans le combustible. Un appareil de ce dernier système fonctionne encore aujourd'hui à Grenelle, chez M. Payen; mais presque partout ils ont été abandonnés : ils exigent tous une force assez grande; de fréquentes réparations, et ne permettent pas de conduire facilement le feu suivant la marche fréquemment variable des machines. Il faut, en effet, régler la quantité de houille fournie par les cylindres cannelés, en les rapprochant ou les écartant l'un de l'autre; de sorte que dans ces changements il arrive souvent que la grille s'engorge, et le foyer se remplit totalement de houille, lorsque le fourneau en brûle moins qu'on ne lui en fournit : et qu'au contraire la grille se dégarnit entièrement, quand le fourneau brûle plus que l'appareil ne donne. En un mot, c'est un appareil lourd, très-difficile à régler et à conduire, et qui présente, à notre avis, plus d'inconvénients que d'avantages; il en fonctionne cependant encore un assez grand nombre en Angleterre (nous en donnons le tracé pl. x, fig. 1, 2, 3).

183. Défauts des procédés de ce genre. Beaucoup de procédés trouvés par les plus habiles mécaniciens, ingénieusement combinés, exécutés avec plein succès, mais d'un emploi difficile, ont les mêmes inconvénients. Or, ce défaut des procédés nouveaux qui affecte gravement les manufacturiers, ne peut frapper aussi vivement le mécanicien qui les établit, parce qu'après les avoir montés, il les essaie lui-même avec tous les soins possibles et une surveillance particulière, et en assure le succès; mais dès qu'ils sont confiés à des ouvriers moins habiles, moins soigneux, ou au moins distraits par d'autres travaux, alors ils présentent des difficultés si grandes, si continuelles, demandent de si fréquentes réparations, que l'on y renonce complètement. En un mot, la première condition du succès de

tout procédé et de tout outil destiné aux arts, et par conséquent mis dans les mains des ouvriers, c'est une grande simplicité et un emploi courant et régulier; et quand il donnerait de grands résultats dans des mains habiles, s'il est délicat et variable à conduire, ce n'est pas un procédé manufacturier. Il en est de même des registres de cheminées mus par le régulateur de la machine; ils sont peu utiles, parce qu'on atteint sans peine un résultat semblable, en exigeant un peu de soin de la part du chauffeur, dont la présence auprès de la machine est toujours nécessaire, et dont la surveillance continuelle doit être sans cesse excitée et réveillée. Nous reviendrons sur ce sujet, en parlant des moyens de régler l'alimentation des chaudières et la production de la vapeur, et aussi de la conduite du feu.

DES BATEAUX A VAPEUR.

184. Nous avons réuni en un seul paragraphe ce que nous ayons à dire des chaudières et fourneaux des bateaux à vapeur. Ce sujet important sera mieux compris, en y appliquant les principes ci-dessus posés pour la construction des chaudières et des fourneaux.

185. *Systèmes des générateurs.* Les générateurs employés à bord des bateaux à vapeur, sont à *haute* ou à *basse pression*, presque toujours en tôle, quelquefois en cuivre. Les premiers, adoptés sur tous les steamers américains, et quelques steamers français, sont cylindriques et à foyer intérieur: ou à bouilleurs, avec foyer et carneaux en briques. Les seconds, employés sur tous les bateaux anglais, et aujourd'hui sur beaucoup de bateaux français, sont carrés, avec foyer et carneaux intérieurs (pl. 13, fig. 1, 2, 3). Nous avons dit (150) que toutes les dispositions d'appareils de chauffage dans lesquels le foyer est entouré d'eau, refroidissent le combustible embrasé, et gênent la combustion: et qu'à moins de nécessité absolue sous d'au-

tres rapports, on doit les éviter. Cependant, sur les steamers dont les machines sont si puissantes, qui brûlent dans chaque foyer jusqu'à 150 k. de houille par heure, et qui travaillant à basse pression, n'ont pas besoin d'une température de combustion aussi élevée, cet inconvénient est beaucoup moins sensible, et on le neutralise encore partiellement, en calculant les grilles pour avoir une combustion aussi intense que dans des fourneaux à haute pression.

186. *Générateurs à haute pression.* Les chaudières employées dans tous les bateaux à vapeur qui marchent à moyenne ou à haute pression, sont cylindriques et en tôle, pour être plus légères; souvent elles ont des bouilleurs très rapprochés de la chaudière, pour en diminuer la hauteur. Telles sont celles de M. Cavé. Ces bouilleurs sont boulonnés et mastiqués au corps de la chaudière. Le démontage en est facile.

187. *Générateurs à foyer extérieur avec fourneaux.* Le fourneau est construit en briques; mais on doit disposer la maçonnerie, de manière qu'elle soit très-mince, et conserver la chaleur par des moyens artificiels, dont les meilleurs sont des espaces vides qui, outre qu'ils sont supérieurs à tous autres, ont encore l'avantage d'alléger la charge du bateau. Il faut avoir soin de donner peu de circulation à la fumée; car dans un bateau qui a trois ou quatre chaudières, et où l'on n'a aucune marge ni sur le poids, ni sur l'espace, la place restant entre chacune d'elles pour les carneaux, est si limitée, qu'en multipliant leur nombre, on réduirait inévitablement leur section, et par suite le tirage, la quantité brûlée, et la vitesse de la machine. (78 et suivants.)

Le tracé des fourneaux de ce genre, se fait sur les mêmes principes que ceux dont nous avons donné des exemples, sous la seule condition de donner aux parois très-peu d'épaisseur.

188. *Briques poreuses.* M. Cheuvreuse, ancien professeur de chimie à l'École d'application du génie, fabrique, à Metz, des briques poreuses qui, tout en conservant complètement leurs qualités réfractaires et la résistance nécessaire, sont deux fois plus légères sous le même volume que les briques ordinaires. Ces briques, qui par leur porosité résistent mieux que les autres au refroidissement du fourneau, peuvent rendre de grands services dans la construction des fourneaux de ce genre.

189. Nous donnons ici les proportions et dimensions d'une chaudière et d'un fourneau tels qu'ils sont adoptés par M. Cavé, pour ses bateaux à vapeur, et nous y avons assuré toutes les conditions d'un bon tirage, et d'un service économique. Les constructeurs peuvent donner leur confiance à ces proportions.

Nous supposons cette chaudière de trente-cinq chevaux de puissance, avec 37 à 40 m. carrés de chauffe, et brûlant 4 k. 50 par cheval, soit 160 k. de houille par heure; la grille aura 1 m. c. 50 de surface, et les carneaux 0 m. c. 50. Pour occuper moins de place, il faut jeter cette fumée dans un seul carneau, sous la chaudière, et ne lui faire parcourir qu'une seule fois la longueur de la chaudière, en plaçant la cheminée sur le devant du fourneau. La cheminée qui doit desservir trois générateurs semblables, aurait eu, en briques, 1 m. 50 de section; en tôle, il suffira de lui donner, comme nous l'avons dit, en section 1 m. carré à 1 m. c. 10, c'est-à-dire 1 m. 20 de diamètre.

190. *Générateur à foyer intérieur.* D'autres chaudières, à haute pression, portent leur foyer et leur carneau de circulation à l'intérieur. Comme cette disposition de chaudière à carneau intérieur s'emploie quelquefois aussi dans les machines fixes, on trouvera plus haut (100) la manière d'en calculer les proportions. Pour obtenir de bons résultats, les carneaux intérieurs en tôle d'une chaudière de ce genre,

semblable en puissance à celle dont nous venons de parler, devraient avoir 0 m. c. 36 de section : et nous réduirions la grille à 1 m. c. 20 pour augmenter l'intensité de la combustion, et rendre au foyer sans cesse refroidi par l'eau environnante toute sa puissance de vaporisation.

191. *Chaudières à basse pression pour les steamers.* Notre intention n'est pas de faire la description de ces chaudières bien connues, et dont nous donnons un tracé qui en montre les dispositions essentielles, sous le rapport du chauffage (Pl. 13, fig. 1, 2 et 3). Nous voulons seulement y appliquer les principes qui précèdent, et y ramener leur construction.

Cette chaudière est celle du *Rollon*, du Havre, construite par Maudslay, dont l'habileté et l'expérience sont justement estimées. Nous les comparerons à celle du *Madagascar*, bâtiment anglais de MM. J. et A. Blyth, de Londres. La puissance de chacun de ces steamers est de 120 chevaux.

192. Les chaudières sont, pour la facilité de l'embarquement et de la pose, et pour être à couvert contre tout accident possible, partagées en deux moitiés *a* et *b* de 60 chevaux de puissance; chacune de ces demi-chaudières est une caisse de tôle, dans laquelle sont établis deux foyers *cd* et *c'd'* ouvrant sur le devant et au bas de la caisse. Derrière ces foyers sont des autels en briques *ce'*, et derrière les autels commence un carneau carré *f* et *f'* très-haut, qui leur est commun à tous les deux; il circule au travers de la chaudière, et toujours entouré d'eau, en conservant partout la même section rectangulaire, et conduit enfin la fumée dans une cheminée en tôle *g* commune aux deux demi-chaudières. Bien des tentatives ont été faites pour modifier les formes des foyers, et prévenir par là la destruction très-rapide de leurs parois verticales, due probablement à la cause que nous avons déjà assignée, de la production trop abondante et du courant ascendant de vapeur qui tient l'eau écartée de ces parois.

Les chaudières en cuivre, paraissent souffrir beaucoup moins de ces défauts. Cependant il paraît que les chaudières de tôle bien établies, supportent les navigations transatlantiques sans aucun inconvénient, soit en alimentant à l'eau distillée par le procédé de S. Hall, soit encore mieux en renouvelant continuellement une partie de l'eau salée de la chaudière au moyen de pompes particulières, comme on le fait sur le *Great-Western*, soit simplement par une éjection intermittente d'eau, faite à l'aide du tube plongeur, comme sur le *Royal-William*. Nous avons réuni dans un tableau les dimensions et les rapports principaux de cet appareil de chauffage, de ceux du *Madagascar* et de la *Heva*, bateau rouennais de M. Cavé.

Il est à remarquer que les chaudières en tôle, bien établies, supportent les navigations transatlantiques sans aucun inconvénient, soit en alimentant à l'eau distillée par le procédé de S. Hall, soit encore mieux en renouvelant continuellement une partie de l'eau salée de la chaudière au moyen de pompes particulières, comme on le fait sur le *Great-Western*, soit simplement par une éjection intermittente d'eau, faite à l'aide du tube plongeur, comme sur le *Royal-William*. Nous avons réuni dans un tableau les dimensions et les rapports principaux de cet appareil de chauffage, de ceux du *Madagascar* et de la *Heva*, bateau rouennais de M. Cavé.

Dimensions comparatives des chaudières du Rollón du Madagascar et de la Heva.

	Le Rollón.	Le Madagascar	La Heva.
Puissance en chevaux-vapeur.....	120	120	100
Houille à 5 k. 25 par cheval à l'heure.....	630	630	450
Vapeur à 5 k. par kil. de houille.....	3150	3450	2,300 (1)
Nombre de foyers	4	6	2
Surface d'une grille	1 m. 70 0 93	1 m. c. 60 0,65	1 m. c. 76 1 m. c. 76
Surface totale de grille.....	6,40	8,16	8
Diamètre de la cheminée.....	1,06	1,40	0 m. 90
Section de la cheminée.....	0 m. c. 88	0 m. e. 95	0 m. e. 60
Passage à l'autel pour 1 foyer.....	0 40	0 22	
Total des passages à l'autel.....	1 60	1 32	
Section des carneaux.	1 05	1 26	0 m. e. 80
Surface des bouilleurs direct. chauffée			45 m. c.
Surface chauffée par le foyer jusqu'à l'entrée des carneaux.....	14	30	
Surface de la chaud. indir. chauffée...			38 m. c.
Surface de la partie sup. des carn..	40	11	
— inférieure.....	10	11	
— latérale des carneaux.....	66	58	
— totale de chauffe.....	100	110	83 m. e.
Rapport de la grille à la cheminée...	7	8,06	13
— des carneaux à la cheminée.....	1 20	1,20	1,33
— de la surface directe du foyer à la surface totale	0 45	0,50	0,60
Vapeur par mètre carré de chauffe...	34 k.	29 k.	29 k.
Houille brûlée par décimètre carré de cheminée.....	7,30	6,60	7
Houille par décim. carré de carneau.	6,0	5	6
Puissance en chevaux par foyers.....	30	20	50 m. (2)
Mètres carrés de chauffe par cheval..	0 m. e. 83	0,91	0,83
Combustible par mètr. carré de chauffe	6 30	5,75	5,42
— par décimètre carré de grille..	1 k.	0 k. 76	0 k. 56

(1) En calculant le travail donné par 3,50 k. de vapeur en une heure et déduisant seulement dans le rapport de 1 à 1,50 et avec un effet utile de 50 p. cent, on trouve pour la force de ces machines 200 chevaux.

Pour réduire la puissance à 120 chevaux, il faut admettre que la détente ne commence qu'au 4/5 de la course.

Il est donc certain que les chaudières ne donnent pas plus de 5 kil. de vapeur pour 1 kil de combustible.

(2) Le *Great-Western* de 1,600 tonnes, avec 450 chevaux de force, a douze foyers sur quatre chaudières pesant ensemble 180,000 k.

193. *Dimensions du Madagascar pareilles aux nôtres.* En étudiant le tableau qui précède, on voit d'abord que les dimensions données par MM. J. et A. Blyth, aux carneaux

métalliques du *Madagascar* sont exactement celles que nous avons adoptées. La cheminée n'est qu'un peu moins grande, et les constructeurs ont compris toute l'importance des larges passages pour la fumée. Les dimensions du *Rollon* sont plus faibles, mais bonnes encore; sous ce rapport le *Madagascar* est supérieur.

Il est encore sous le rapport, au moins aussi important de la surface directe de chauffe à la surface indirecte. Dans le *Rollon* 14 m. carrés seulement, ou un sixième de la surface totale, reçoivent l'action immédiate du foyer en combustion; dans le *Madagascar*, un tiers de la surface est ainsi chauffé, et doit produire nécessairement plus de vapeur, en un temps donné, que les dispositions du *Rollon*. On remarquera qu'en exposant ainsi à l'action directe du feu une plus grande proportion de la surface totale de chauffe, et même la plus grande proportion possible, on obtient un chauffage plus rapide, un plus grand produit, sans augmenter la quantité totale de surface chauffante, et par conséquent le poids de la chaudière; condition si importante à bord des steamers.

194. *Chaudière de John Elisha Collier*. On vient de publier en France, dans le *Répertoire de l'Industrie étrangère*, une chaudière de John Elisha Collier, employée à bord du navire anglais le *Météore*. Cette chaudière paraît avoir fourni à poids égal, plus de vapeur, et donné au *Météore* beaucoup plus de vitesse qu'aux bâtiments de même ordre de la marine royale. Si ces résultats sont exacts, comme on doit le croire, ils sont dus sans doute à ce que les deux tiers de la surface totale de chauffe sont exposés à l'action directe du feu, sous forme de seize chambres verticales remplies d'eau.

Comme facilité et solidité de construction; nous sommes peu disposés à approuver cette disposition de chambre; mais elle n'en donne pas moins un partage bien supérieur de la surface de chauffe. L'absence d'échelle aux plans de la

chaudière de Collier, et de renseignements sur la force des machines qu'elle conduit, nous a privés de pouvoir la comprendre dans le tableau qui précède, et de rendre la comparaison complète.

195. *Grilles.* La surface des grilles inclinées du *Madagascar* est un peu plus grande proportionnellement que celles *h* et *h'* du *Rollon*. Le constructeur y a été entraîné afin d'augmenter la surface de chauffe de ses foyers; mais c'est, à notre avis, un défaut. Les grilles du *Rollon* pour brûler de la houille, avec 7 fois la section de la cheminée de tôle, ce qui équivaut à 4 1/2 et 5 fois une *cheminée de brique*, nous paraissent très-bien proportionnées, et il est facile de conserver la surface directe de chauffe du *Madagascar*, en réduisant les grilles d'un quart: le chauffage en serait meilleur. Les grilles du *Météore* ont seulement 6 fois la section de la cheminée; proportion qui nous paraît très-bonne. On trouve en même temps économie de combustible et moindre destruction des parois des foyers, en remontant la partie postérieure de ces *grilles*. Le premier effet est dû à ce que la distance entre le combustible embrasé, et la surface horizontale de chauffe est trop grande; le second sans doute à ce que la production de vapeur par les parois verticales et son courant ascendant sont moins forts, ce qui permet à l'eau de la chaudière de se renouveler plus facilement sur ces parois (192).

196. *Vapeur au mètre carré.* On remarquera que la quantité de vapeur produite par mètre carré, est à peu près ce que nous avons trouvé pour de bonnes chaudières, dans lesquelles la limite de poids et d'espace, ne permet pas de prodiguer la surface, soit 50 k. moyennement par mètre carré; mais comme toute la surface inférieure ne peut pas compter, nous pensons qu'une augmentation dans cette surface de chauffe serait avantageuse, et donnerait, outre un accroissement de vitesse dans la marche, un meilleur emploi du combustible; les chaudières du *Mada-*

gascar sont avec raison placées au rang des plus belles que l'on ait montées sur des bateaux à vapeur.

197. *Chaudière de la Héva par M. Cavé.* Appliquant ces éléments à la chaudière de *la Héva* par M. Cavé, nous trouverons que les grilles sont beaucoup trop considérables pour les dimensions des générateurs, et que ceux-ci sont trop faibles, bien que *proportionnés* à peu près comme ceux dont nous venons de parler. La surface directe y est fort développée, avantage que permet la disposition des foyers extérieurs à la chaudière. Mais le plus grand défaut de ces appareils, est la trop petite dimension de la cheminée, et encore plus des carneaux, qui construits en briques, devraient avoir $1/3$ de plus proportionnellement que ceux en tôle des navires anglais, tandis qu'au contraire ils sont obligés de brûler autant au moins de combustible pour la même section. La quantité brûlée par décimètre carré ne devrait pas dépasser 3 à 5 k. de houille. En effet, la marche des chaudières et de la machine en souffrait à l'époque où nous l'avons visitée.

Nous désirons que ces courtes remarques soient utiles aux constructeurs; elles leur montreront la ligne dans laquelle ils trouveront un accroissement de vitesse pour leurs machines; car là où la vitesse de la machine est fortement limitée par la dimension des appareils à vapeur, c'est la plus grande production de vapeur à dimensions égales d'appareils, qui permettra de donner le plus de vitesse aux navires.

198. *Nécessité de maintenir l'eau au-dessus des foyers intérieurs.* Une condition bien importante, dans l'établissement de ces générateurs, dont les foyers sont intérieurs, comme de tous ceux de ce genre, est de maintenir constamment le niveau de l'eau au-dessus de toutes les parties chauffées, et de ne gêner en rien son accès et sa circulation autour de ces parties chauffées, afin que jamais elles ne puissent rester à sec et rougir ou s'encroûter, d'où pourrait résulter

ou une explosion, ou au moins une déchirure et de longues réparations. Aussi, prend-on des précautions multipliées pour s'assurer que le niveau ne peut varier que dans de très-petites limites, en appliquant aux chaudières un flotteur, et de plus trois petits robinets de niveau (*Pl. 10, fig. 2*).

199. *Utilité des cloisons dans les steamers.* La disposition des foyers à l'intérieur, et des hautes cloisons verticales des carreaux, a encore pour objet, d'arrêter les oscillations de l'eau, dans les mouvements de roulis et de tangage du navire, et d'empêcher une partie de la surface du foyer, de rester quelques moments à sec, et de chauffer trop fortement, ce qui entraînerait les mêmes dangers.

200. *Consommation de houille.* On trouve peu de renseignements certains sur la consommation de houille des bateaux à vapeur, et moins encore sur la production de la vapeur. La statistique des machines à vapeur en France, publiée en 1836, par l'administration des mines, porte à 6 k. moyennement, la consommation de houille des machines à vapeur; mais il y a là une erreur évidente.

201. *Expériences de Watt.* Nous avons trouvé dans le *Journal de l'Industriel*, des expériences faites dans les ateliers de Watt et Boulton, et desquelles il résulte que la dépense de houille par cheval, sur les steamers, est, pour les machines à basse pression, de 5 k. 20 environ; c'est la dépense des machines semblables sur terre: nous comptons 5 k. 25 pour un service régulier. La production de vapeur doit être, avec l'eau salée, d'environ 5 k. pour 1 k. de houille.

202. *Consommation du Lemann.* Sur le *Lemann*, bateau suisse, de construction anglaise, la consommation de bois de sapin est de 5 k., dit-on. Elle s'élève jusqu'à 9, à bord du *Winkelried*. Y a-t-il une erreur pour le premier? Nous en sommes convaincus.

203. *Consommation des machines à haute pression.* La

dépense de combustible, avec les machines à haute pression, doit être au moins de 20 p. 0/0 au-dessous de celles à basse pression. Elle est de 4 k. 1/2 dans les machines sans condensation de Cavé, qui font le service de *la Héva*, du *Vésuve* et du *Neptune*.

204. *Machines à deux cylindres*. La dépense des machines à deux cylindres est aujourd'hui bien constatée à 3 k. au maximum, par cheval, et leur service est parfaitement régulier. Pourquoi n'arriverait-on pas à employer des appareils semblables, et à réaliser ainsi une économie de 40 p. 0/0 sur la dépense de houille, si grave par l'encombrement des approvisionnements qu'elle exige ?

Le bas prix de la houille, en Angleterre, la plus grande simplicité des machines, et les avantages de construction des chaudières à basse pression sur les générateurs à haute pression, à bord des steamers, ont fait adopter de préférence les premières dans toute l'Angleterre. Mais ce sont des avantages que l'on doit pouvoir retrouver avec l'économie de la moyenne pression.

205. *Nécessité de nettoyer les chaudières à l'arrivée*. Les chaudières, lorsqu'elles travaillent en mer avec de l'eau salée, fatiguent beaucoup. Il est fort important de les vider et nettoyer aussitôt rendu dans le port.

L'action de l'eau de mer, de l'air et de la chaleur, détruisent très-rapidement les cendriers.

DES LOCOMOTIVES.

206. *Leurs conditions premières : légèreté et petit volume*. Plus encore que sur les bateaux à vapeur, les conditions premières des chaudières et machines à employer sur les chemins de fer, sont la légèreté et la réduction de l'espace occupé ;

c'est que là les frais de transport sont beaucoup plus élevés, et quelque largeur que l'on veuille donner à la *voie* des chemins de fer, cette augmentation difficile et coûteuse sera toujours employée immédiatement à accroître la puissance du moteur, en conservant les mêmes conditions relatives de poids et de volume. Il a donc fallu réduire considérablement le volume des chaudières et de l'eau qu'elles contiennent, et disposer la surface de chauffe, de manière qu'elle reçût tout entière l'action directe du feu, ce qui, à *surface égale*, donne un plus grand effet utile.

207. *Chaudières tubulaires.* On a donc fractionné les produits de la combustion, pour les forcer à traverser l'eau en couches minces, et les dépouiller plus rapidement et plus complètement de la chaleur qu'ils emportaient.

Ces résultats ont été obtenus avec le plus grand succès au moyen des chaudières tubulaires, adoptées aujourd'hui dans toutes les locomotives (*pl. 13, fig. 4 et 5*). La flamme d'un foyer *a* chauffe directement un coffre en cuivre *b* plongé dans l'eau de la chaudière *c*, puis elle passe immédiatement dans des séries de 80, 100 et 160 tubes *dd* d'un très-petit diamètre, et enveloppés d'eau, pour se rendre dans la cheminée *e*.

208. *Emploi forcé du coke.* De ces dispositions et de l'emploi des petits tubes, résulte d'abord la nécessité de brûler dans ces foyers du coke au lieu de houille qui, par sa fumée, serait trop exposée à engorger ces tubes.

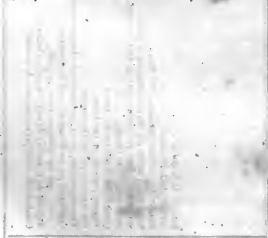
209. *Nécessité d'un tirage artificiel.* Puis de combattre, par des *procédés artificiels*, la réduction du tirage qu'ont produit les frottements considérables du gaz dans ces tubes de petit diamètre; car, nous l'avons dit, jamais on n'utilise avantageusement un combustible avec un mauvais tirage, et de plus l'emploi même du coke l'exige plus impérieusement encore.

210. *Tirage par le ventilateur.* MM. Braithwaite et Ericsson ont appliqué au tirage de leur chaudière ce ventilateur, et

dans le tableau qui suit, on verra quels avantageux résultats ils ont obtenus.

211. *Tirage par le jet de vapeur.* Stephenson a employé pour obtenir un tirage artificiel, l'injection de la vapeur perdue de sa machine, par un tube rétréci au bas même de la cheminée. Cette puissance présente un avantage fort important : c'est qu'elle donne un tirage proportionné aux besoins de la locomotive; puisque plus celle-ci prend de vitesse et fait de travail, plus l'injection de vapeur, le tirage par conséquent, la consommation de combustible et la production de vapeur, sont considérables.

212. *Effets obtenus.* On a donc atteint ainsi ce résultat, que tout l'effet utile de la flamme se réalise dans un très-court trajet, à la sortie du foyer, et que l'on obtient de chaque mètre carré de surface de chauffe, plus de produit que dans les autres chaudières, sans diminuer pour cela l'effet utile du combustible; ce qui au premier coup d'œil peut paraître paradoxal. Le tableau qui suit des proportions et du travail des chaudières pour plusieurs locomotives, est dressé sur des résultats certains,



Chauffage comparatif de plusieurs locomotives.

	La Flèche.	La Féc.	Moyenne de 7 machines, chemin de Liverpool.	La Vierge- rieux.	Chaudière à base pression de Braithwaite et Ericson à ventilateur.
	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.
Surface de la grille.	0,15	0,15	0,611	1,2	0,45
Section de la cheminée.	0,078	0,078	0,0825	0,113	0,076
Somme des sections intérieures des tubes.	0,215	0,125	0,123	0,67	0,076
Surface de chauffe par rayonnement sur le foyer.	1,86	1,86	4,007	5,50	3,07
Surface de chauffe par communication dans les tubes.	26,32	11	26,79	15	22,91
Surface totale de chauffe.	28,18	12,86	30,895	20,50	26
Combustible brûlé en une heure.	201 kil.	147 k. 50	278 kil.	"	114 kil. 26
Vapeur produite en une heure.	1249	840 50	1580	"	1018
Eau évaporée par un kil. de coke.	6	5 68	5,07	"	10
Vapeur produite par un mètre carré de chauffe en une heure.	41	64	51	"	39,10
Coke brûlé par un décimètre carré de cheminée (1).	26	19	33,5	"	15
— par un décimètre carré de grille.	4,62	3, 3	4,30	"	2,52
Rapport de la surface directe à la surface totale.	0,066	0, 14	0,13	"	0,12
Combustible brûlé par mètre carré de chauffe.	7,21	11 50	8,97	"	4,38

(1) Avec le tirage artificiel du jet de vapeur perdue.

213. *Résultats comparés.* Si l'on compare ce tableau à celui que nous avons donné sur quelques chaudières de steamers, on verra que chaque mètre carré de chauffe donne quelquefois en vapeur le double de ce que l'on obtient sur les steamers; cependant la quantité de vapeur produite par 1 k. de houille est au moins égale.

En y réfléchissant, on trouvera bien vite que cela tient, en partie, à l'emploi du coke, combustible à *flamme courte*, qui ne donne pas de suie, et ne salit pas les tubes; en partie au nettoyage très-fréquent de ces tubes, nettoyage qui (157) réduit de 10 à 15 p. cent la quantité de combustible nécessaire pour un effet donné; surtout à ce que l'on porte très-haut la division de la flamme et la multiplication des contacts avec des surfaces refroidissantes; à cette condition que toute la surface de chauffe étant ainsi très-courte et n'ayant pas plus de largeur que la flamme, en reçoit directement l'action: enfin à l'activité du tirage artificiel, au rétrécissement de la grille, et à l'intensité de combustion qui en résulte, c'est-à-dire à l'emploi simultané et porté au plus haut degré de puissance de toutes les conditions qui donnent les produits les plus rapides, aux dépens même de la durée des outils employés.

214. *Rapide destruction de ces appareils.* Mais ces avantages, dont le but et le résultat ont été de réduire considérablement la surface de chauffe et le volume du générateur et de l'eau qu'il contient, après avoir exigé l'emploi d'un moyen mécanique pour forcer la flamme à traverser rapidement les tubes, et pour conserver à la combustion toute son activité et sa puissance, ont entraîné inévitablement un grand inconvénient: c'est l'usure très-rapide et très-coûteuse de ces tubes de cuivre, auxquels on impose un *travail excessif*, et qui sont amincis chaque jour et par le frottement des cendres qu'entraîne le courant de flamme, et sans doute aussi par une action thermoélectrique qui leur

enlève en peu de temps jusqu'à un tiers de leur poids.

Ces conditions de tirage mécanique coûteux, d'usure rapide et de réparation difficile, s'opposent (44) à l'emploi des chaudières tubulaires avec les *machines fixes*, c'est-à-dire partout où le poids et le volume ne sont pas une loi imposée par l'essence même des choses.

215. *Dépense d'entretien sur le chemin de Liverpool.* Des chiffres feront mieux apprécier l'importance de ces dépenses d'entretien et de réparation. M. de Pambour cite deux locomotives du chemin de fer de Liverpool à Manchester, nouvellement établies, qui, dit-il, comme un travail remarquable, avaient fait, l'une, *Firefly*, 57 semaines et 33,421 milles de chemin, qui a 16 milles à l'heure moyennement, donnent 2,088 heures ou 160 jours de travail réel; l'autre *Liver*, 107 semaines et 53,000 milles de chemin, et 3,312 heures ou 255 jours de travail réel. Quelles machines fixes peuvent être citées comme remarquablement bonnes pour avoir fait 6 ou 8 mois de service *sans réparation complète*?

216. *Dépenses d'entretien sur le chemin de Darlington.* Sur 23 machines employées à moindre vitesse au chemin de fer de Darlington, il y a eu moyennement 61 jours d'activité, contre 71 *de réparations* en 5 mois de service. La moyenne d'entretien a été de 1,530 fr. sur les 61 jours de travail, et quoique leur travail ne soit pas à beaucoup près de 13 heures pleines par jour comme pour les machines fixes, ces 1,530 fr. pour 2 mois donnent 9,130 fr. pour l'entretien annuel d'une machine de 20 chevaux. Les générateurs entrent pour une forte partie dans cette somme d'entretien; car, sur les 23 machines, celles qui ont donné le plus grand nombre de réparations et la plus grande somme d'entretien, sont précisément celles qui portent de 88 à 120 tubes; celle dont l'entretien a été le moindre, est le *Earl Grey* qui n'a que 3 tubes. (*Quatrième partie*,

entretien des machines). On verra plus loin, que les frais d'entretien et de réparation d'une machine fixe de 20 chevaux ne peuvent être estimés à plus de 2,000 fr. par an, c'est-à-dire à un chiffre quatre fois moindre que sur chemin de fer.

216. *Suite de la comparaison.* L'examen de notre tableau montre cependant, conformément à nos principes, que les locomotives qui ont donné le meilleur produit en vapeur, sont celles où la surface de chauffe a été la plus grande par rapport au combustible brûlé; quant au rapport entre la surface de chauffe du foyer et celle des tubes, il a certainement une influence remarquable sur le produit en vapeur, d'après ce que nous avons dit plus haut, car une expérience faite par Stephenson, paraît indiquer que le métal exposé ainsi au-dessus du foyer, produit le triple du métal des tubes. Les constructeurs doivent donc chercher à augmenter ce rapport, que le mode de construction adopté aujourd'hui ne permet pas de faire beaucoup varier, car ce que l'on cherche et doit chercher avec le plus de soin, c'est l'augmentation totale de la surface : c'est elle qui peut donner avec le tirage artificiel une économie notable de combustible.

217. *Dimensions des grilles destinées au coke.* On remarquera aussi combien les grilles destinées à brûler du coke sont petites. Le rapport que nous avons dit le plus avantageux pour produire de la vapeur à haute pression avec la houille, est de 1 décimètre carré pour 1 k. de houille brûlée. Ici on brûle en moyenne 4 k. 30 de coke par décimètre carré de grille, c'est-à-dire que les grilles sont à peu près 4 fois plus petites que pour la houille; l'intensité de la combustion en est beaucoup augmentée.

DES COMBUSTIBLES.

218. De la Houille. Le plus important de tous les combustibles, et le plus avantageux pour la production de la vapeur, est sans contredit la houille. Les fabricants ne sont pas toujours à portée de choisir la meilleure; cependant voici les qualités que l'on doit préférer.

La meilleure houille est d'abord celle qui donne le moins de cendres (1); elle doit être grasse et collante, pour ne pas se réduire en poussière, et tomber à travers la grille du fourneau, sans cependant l'être assez pour ne former qu'une seule masse; car alors toute la chaleur se concentre sous la croûte de houille fondue, la grille rougit, est promptement brûlée, et le feu agit moins vivement sur la chaudière. Les houilles trop grasses, c'est-à-dire celles qui contiennent la plus grande proportion d'hydrogène, comme le cannel coal, sont toujours disposées à entraîner en fumée, une grande quantité de carbone qui se volatilise rapidement, et est très-difficilement brûlé. Lorsque l'on doit employer une houille de ce genre, il faut la mêler avec des houilles maigres, et qui se délitent facilement, de manière à corriger les défauts de l'une par ceux de l'autre : on emploie le même mélange pour corriger les houilles maigres. Si l'on manque de houille très-grasse pour améliorer les charbons maigres, on peut les mouiller légèrement.

Il est aussi toujours utile de conserver le magasin de houille à l'abri de la pluie. Outre l'inconvénient de compromettre les bouilleurs, cette eau que l'on ajoute ralentit l'activité du feu, et diminue la force de la vapeur; mais la perte la plus consi-

(1) Il est facile de les essayer sous ce rapport, en brûlant dans un fourneau, des quantités égales de diverses houilles à essayer, et pesant les cendres qu'elles laissent.

dérable qu'elle occasionne, est due à ce qu'une grande quantité de chaleur est employée, sans profit, à sécher la houille mouillée. Les houilles très-grasses et très-flambantes, donnent aussi un coup de feu trop vif et de peu de durée. Ce sont des alternatives toujours dangereuses pour les chaudières, et contraires à la marche régulière des machines : en un mot, la houille la plus favorable à la production de la vapeur, est celle qui entretient un feu vif, flambant, mais égal et soutenu, et qui ne laisse que peu de cendres.

219. Nous recommandons, surtout lorsque la houille que l'on emploie est cassante, de faire passer à la claie toutes les cendres qui tombent de la grille, et de rejeter dans le fourneau la houille et le coke que l'on en retire en très-grande quantité. Au reste, les manufacturiers ne doivent pas négliger d'essayer, pendant un ou deux jours, les nouvelles parties de houille qu'ils viennent d'acheter, afin de les estimer d'après la quantité nécessaire pour faire travailler leur machine pendant cet espace de temps : c'est le seul moyen de reconnaître avec certitude la qualité de la houille ; et il est prudent de surveiller de près les chauffeurs pendant ces importants essais, parce qu'ils jugent souvent de la qualité des houilles, d'après le plus ou moins de générosité des marchands qui les livrent. On trouvera dans l'appendice une note sur la manière de mesurer la houille (Note 5).

220. *Diverses qualités de houille pour fourneau.* Les houilles qui donnent les meilleurs résultats pour la production de la vapeur, sont celles de Mons, puis viennent celles de Sunderland, puis celles de Newcastle et d'Écosse. Leur consommation, à produit égal en vapeur, est dans le rapport suivant, sauf les variations inévitables de qualités :

Houille de Mons,	13,5 à 14	17 hectolitre
Sunderland,	15	
Newcastle et Écosse,	de 16 à 17.	

Quant aux houilles de France, elles ne sont pas aussi bonnes que celle de Mons, pour le service du fourneau à vapeur; cependant celles du Bourbonnais, de la Bourgogne, du Lyonnais et de la Franche-Comté, sont les meilleures des houilles indigènes. Celles du département du Nord sont en général trop maigres.

Ces résultats serviront à comparer les prix proportionnels d'achat. Cependant nous ne saurions trop recommander le choix des meilleurs combustibles : le fourneau et la machine travaillent plus activement, la grille se détériore moins vite, le chauffeur est moins fatigué, et, en somme, on y trouve un bénéfice notable.

221. *Du Coke.* On peut également se servir de coke, ou de houille calcinée et épurée, pour chauffer les chaudières, comme on le fait pour les locomotives (208); mais alors il faut réduire la grille à une très-petite surface, 1/3 ou 1/2 environ de la surface indiquée ci-dessus, sans rien changer à la section de la cheminée, afin d'accroître l'activité de la combustion : on augmente en même temps la hauteur du foyer afin de mettre une couche plus épaisse de combustible : ainsi qu'avec le bois, il n'y a pas à craindre ici d'engorgement qui s'oppose au passage de l'air destiné à entretenir la combustion, Il faut, en outre, allumer le feu avec de la houille ordinaire pour chauffer le fourneau et la chaudière, et faciliter ainsi la combustion du coke, qui ne se développerait que lentement si le foyer était complètement froid.

D'après des expériences faites sur une grande échelle, et dans le service des locomotives, la puissance calorifique du coke est à celle de la houille, à qualité égale, comme 13 est à 14.

222. *Du Bois.* Quant au bois, il ne faut l'employer que lorsqu'on manque d'autre combustible, et choisir toujours celui qui est le plus sec et le plus lourd; cependant, parmi ceux-ci le chêne est moins avantageux, parce qu'il ne donne

que peu de flamme, ne brûle pas franchement, et qu'au contraire, en se réduisant en charbon, il laisse un brasier considérable, qui rougit et brûle les grilles et les portes du fourneau, et en interdit l'approche. Le bois blanc fournit un feu qui se conduit plus facilement, bien qu'il soit assez dangereux pour les bouilleurs, parce qu'il est trop vif et trop court, et que la grille est trop promptement dégarnie; aussi est-on obligé, comme nous l'avons dit, de donner au foyer beaucoup de profondeur, et de le remplir de combustible.

Les bateaux à vapeur qui font la navigation de la Gironde et de la Garonne, et presque tous ceux des États-Unis, sont chauffés au bois. Une partie des manufactures de l'Alsace l'emploient aussi pour la production de la vapeur.

223. *Qualités diverses des bois.* Au reste, les bois qui donnent le plus de charbon et le moins de flamme, comme le chêne, se rapprochant évidemment plus que les bois flamboyants de la qualité de la houille, feu ardent, soutenu et flamme courte, demandent, pour donner de bons résultats, des foyers plus analogues à ceux de la houille et, par conséquent, des grilles plus rapprochées de la chaudière.

La puissance calorifique du bois, dépend beaucoup de son degré de dessiccation, puisque du bois de sapin d'un mois, séché sur le fourneau, perd jusqu'à 23 0/0 de son poids d'eau; mais, en employant du sapin ou du hêtre de treize mois de coupe et refendu de six à sept mois, MM. Gros-Davilliers, Roman et Comp. de Wesserling, ont trouvé que le rapport moyen de la puissance calorifique de ces bois à celle de la houille de Sarrebruck est de 2,30. On se trompera peu en pratique en admettant qu'à même poids et à dessiccation égale, tous les bois donnent le même résultat calorifique; mais il faut bien se garder de les employer verts. Nous avons donné les dispositions de foyer que réclame ce combustible (134).

224. *De la tourbe.* Le haut prix du charbon de terre et du

bois dans beaucoup de localités de la France, a fait employer la tourbe, avec un plein succès, non seulement pour les évaporations de liquides et la production de la vapeur, mais même pour le puddlage des fontes.

Les fourneaux destinés à brûler la tourbe, sont les mêmes que ceux où l'on emploie le bois, car il y a la plus grande analogie entre ces deux combustibles.

La tourbe varie considérablement de qualité. On peut à peu près estimer cette qualité d'après la proportion de résidu terreux qu'elle donne, et qui s'élève quelquefois au-delà de 25 pour 100, et d'après la quantité d'eau qu'elle contient. Il faut la conserver à l'abri de la pluie. La tourbe bien sèche est un excellent combustible, dont le feu, lent à prendre, atteint, avec un bon tirage, une intensité fort grande, est très-égal, et ne demande pas à être attisé comme celui de la houille. Sa flamme est plus courte que celle du bois.

225. *Sa carbonisation après compression.* Le défaut principal de la tourbe est d'occuper trop de volume, de tenir trop de place au magasin et dans le foyer, et de ne pas donner par conséquent toute l'intensité de combustion dont elle serait capable avec une plus grande densité. On a essayé plusieurs fois de la comprimer; mais on n'a pas réussi à le faire assez économiquement pour l'industrie. Avec cette compression si importante, on obtiendrait un combustible bien précieux pour la grille, et de plus on pourrait fabriquer un charbon qui aurait des usages fort étendus, parce qu'il n'aurait pas l'odeur désagréable de la tourbe.

226. *Sa puissance calorifique.* Les meilleures tourbières des départements septentrionaux de la France sont celles de Pont Saint-Maixence dans l'Oise; celles de Mennecy et de la vallée d'Essonne sont moins bonnes.

D'après des expériences faites en grand à la blanchisserie de MM. Verd au jeune et comp., à Meudon, le rapport de

dépense entre la tourbe moulée de l'Oise et la houille est de 2,50 à 1. La tourbe de Mennecy donne un rapport un peu plus grand, soit à peu près 2,60. Nous ne saurions préciser la différence de produit que donnent la tourbe moulée ou la tourbe ordinaire, c'est-à-dire celle qui est extraite et séchée sans être comprimée au moule, car d'après les mêmes expériences, leur rendement à poids égal est à peu près le même.

On voit donc que la puissance calorifique de la bonne tourbe, est à peu près égale à celle du bois coupé de l'année; celle de la tourbe carbonisée est à peu près égale à la puissance du charbon de bois.

227. *Des lignites.* Dans quelques localités on emploie des lignites pour brûler sur grille. Dans les départements de l'Aisne, de l'Oise, du Bas-Rhin, des Basses-Alpes, des Bouches-du-Rhône, du Gard, de l'Hérault et quelques autres, plus de soixante exploitations, en fournissent au chauffage domestique, à des fourneaux d'évaporation, à la fabrication de la chaux, aux fabriques de soude de Marseille, au chauffage des chambres de vers à soie, et même aux travaux de la forge. Ces matières combustibles diffèrent de la houille, en ce qu'elles contiennent beaucoup moins de matières inflammables, ne donnent pas de coke à la calcination, et ne collent pas sur la grille. Moins inflammables que la houille, et sous ce rapport se rapprochant du coke, les lignites demandent un tirage plus fort, et des grilles moins larges. On les a essayés en Suisse, à bord du bateau à vapeur *le Léman*, et on y a renoncé pour prendre la tourbe, d'abord à cause de leur prix proportionnellement plus élevé, ensuite parce qu'ils altéraient les chaudières. C'est que presque toujours, en effet, ils contiennent des pyrites de fer. Leur puissance calorifique varie considérablement avec leur nature; mais elle est toujours bien inférieure à celle de la houille. Quoiqu'il n'y ait pas d'expérience connue sur cette question, on peut

compter, qu'elle égale 0, 40 à 0, 60 de celle de la houille.

228. *De la tannée.* M. A. Salleron, manufacturier à Paris, a tenté avec succès d'employer au chauffage des machines à vapeur la tannée seule. Pour cela, il faut la faire sécher préalablement, et alors elle donne un feu vif, flambant, mais qui demande à être alimenté plus souvent encore que celui de la tourbe; il faut, au reste, se bien garder de la retourner au ringard, parce qu'elle tomberait à travers la grille; mais, en la chargeant toujours sans y toucher, elle se soutient assez bien. Le plus grand inconvénient de ce chauffage, qui est très-économique, et qui présente un intéressant débouché à un produit jusqu'à présent peu employé, et ne revient à Paris, tout séché, qu'à 10 fr. les 1000 kil., est d'exiger un emplacement considérable par la nécessité de dessécher complètement, pendant l'été, toute la tannée nécessaire au travail de l'année: aussi serait-il difficile de l'employer exclusivement au chauffage d'une machine. La tannée seule donne moins de chaleur que le bois; 125 kil. d'écorce de chêne fournissent, après le travail des fosses, environ 100 kil. de tannée qui équivalent, pour la production de la vapeur, à environ 65 kil. de bois sec, ou 28 kil. de houille. Son rapport avec la houille est donc 3, 55.

229. *Du pouvoir calorifique des principaux combustibles.* Voici les quantités de vapeur que peut donner un kilog. de chacun des combustibles dont nous avons parlé, dans un fourneau bien construit, et sous une chaudière de tôle. Nous les avons réunies en un tableau. Cependant il faut remarquer que le produit direct et les qualités relatives des divers combustibles, varient considérablement avec le travail pour lequel on les emploie. La longueur de la flamme, l'intensité du coup de feu, le volume, etc., sont des conditions aussi fâcheuses dans certains cas, qu'elles sont favorables dans quelques autres.

Tableau comparatif du pouvoir calorifique des principaux combustibles.

NATURE DU COMBUSTIBLE.	Quantité de vapeur produite par 1 k. de combustible.	Quantité propor- tionnelle de combustible.	Rapport des pouvoirs calorifiques.	OBSERVATIONS.
Houille grasse de Mons.....	kil. 5	kil. 125	m. 0,80	Vapeur à 4 ou 5 atmosphères.
Id.....	6,25	100	1	Vapeur à la pression atmos.
Id.....	7	112	0,89	Dans des évaporations à basse température. Les résultats ob- tenus au-dessus de 7 k. ne sont pas des moyens, de maoofect.
Houille très-cass, en petits morceaux.	4,80	153	0,72	Vapeur à haute pressioo.
Id.....	5	125	0,80	Id. à basse pression.
Coke fabriqué au four, 1 ^{re} qualité....	4,65	135	0,74	Id. à haute press. chaud. ord.
Id.....	5,80	108	0,92	Dans les locom. et tirage art.
Bois de sapin et hêtre de 13 mois....	2,70	230	0,45	Basse pression.
Bois de chêne.....	2,50	250	0,40	Id.
Charbon de bois.....	6	105	0,96	Id.
Lignite.....	3,50	180	0,56	Id.
Fourbe 1 ^{re} qualité.....	2,70	250	0,45	Id.
Fourbe compacte comprimée.....	4	150	0,64	Id.
L'auoée sèche.....	2	300	0,32	Id.

DE L'EFFET UTILE DU COMBUSTIBLE.

230. *Des procédés destinés à utiliser une partie de la chaleur perdue par les cheminées.* Nous avons déjà dit que la plupart des inventeurs et des constructeurs, avaient cherché l'augmentation du produit des générateurs et des fourneaux, dans des complications de formes difficiles à exécuter, et coûteuses à entretenir.

Toutes les inventions qui ont voulu obtenir du combustible le plus grand effet possible du premier coup, ont échoué, parce que le tirage est réduit à mesure que la fumée s'échappe plus refroidie, ce qui donne une mauvaise combustion, et une perte définitive; puis ces procédés ne sont

pas applicables à la plupart des industries qui emploient les plus grandes masses de combustible.

231. Il y a donc deux questions :

1° *Quels sont, suivant les circonstances, les procédés de tirage qui coûtent le moins.*

2° *Quels sont les procédés qui permettent de recueillir la chaleur jusqu'à présent perdue, sans nuire au tirage ni au travail produit.*

232. *Quantité totale de chaleur à obtenir de la houille.* Évaluons d'abord la quantité totale de chaleur que peut donner un combustible, et nous chercherons à apprécier la quantité de chaleur réalisée dans divers travaux industriels, par la combustion de 1 k. de houille. 1 k. de houille donne par sa combustion 7050 calories. La calorie, est la quantité de chaleur nécessaire pour élever 1 k. d'eau de 1° centigrade.

233. *Prix du tirage à basse pression.* Or, dans les chaudières à basse pression, 1 k. de houille produit 6 k. de vapeur qui contiennent chacun 650 calories, soit ensemble 3900 calories, au lieu de 7050 qu'il aurait dû donner; c'est donc une perte de 3150 calories ou 44 p. 0/0, et en comptant 10 p. 0/0 de cette perte pour le refroidissement du fourneau, ce qui est trop, la perte exigée par le tirage de la cheminée, c'est-à-dire le prix coûtant du tirage, est de 40 p. 0/0. Il est le même dans presque toutes les chaudières d'évaporation, en cuivre, tôle et fonte, pour teinture, bains, etc. Dans les générateurs à haute pression, le tirage coûte près de 50 p. 0/0.

234. *Tirage sous les chaudières de plomb.* Sous les chaudières de plomb employées à la concentration de l'acide sulfurique, 1 k. de houille ne donne que 2,5 à 3 k. de vapeur, et le tirage coûte 65 p. 0/0 du combustible.

235. *Tirage dans les foyers d'habitations.* Dans le chauffage des maisons d'habitation, la perte est considérable. Avec de bons calorifères, des poêles ou des cheminées à la

Désarnod, la perte varie de 45 à 50 p. 0/0; avec les cheminées ouvertes, elle s'élève à 80 ou 90 p. 0/0.

236. *Tirage dans le travail du fer.* L'évaluation de la quantité de chaleur réellement utilisée dans le travail du fer et de plusieurs autres métaux, est fort difficile; on manque de données sur leur température exacte de fusion, leur chaleur spécifique à ces hautes températures, et sur la quantité de chaleur qu'ils rendent latente en passant à l'état liquide.

Cependant des calculs probables nous font estimer la perte de chaleur, par la cheminée, à plus de 80 p. 0/0 dans la fusion de la fonte; plus de 95 p. 0/0 dans le puddlage et dans le chauffage des fers et tôles; enfin plus de 98 p. 0/0 dans les fours de verreries, ceux à cuire les poteries et porcelaines, etc.

237. *Valeur de la perte faite par les cheminées en France, Belgique et Angleterre.* Ainsi, comptant en moyenne à 75 p. 0/0 du combustible brûlé la quantité de chaleur perdue dans les cheminées par les diverses industries de la France, de la Belgique et de l'Angleterre, ce qui est au-dessous de la vérité, il s'ensuit que, sur 250 millions de quintaux métriques de houille consumés annuellement dans ces trois pays, 188 millions de quintaux, égalant au minimum une somme de 145 millions de francs, sont chaque année perdus dans l'air sans effet utile. Nul doute que l'effet utile du combustible ne puisse être porté de 25 à 50 p. 0/0 en moyenne, ce qui donnerait une économie de 1/3 sur la perte que nous signalons.

238. *Tirage par les cheminées.* Le procédé de tirage employé dans presque tous les appareils de chauffage, est le passage de la fumée chaude dans une cheminée c'est-à-dire la différence de poids de la colonne extérieure d'air froid qui est *plus lourde*, à la colonne intérieure d'air chaud qui, étant plus légère, tend à s'élever avec une vitesse dépendante de cette différence de température, de la hauteur, de la section,

et de la nature du tuyau qu'elle parcourt. Ce procédé de tirage, exige donc nécessairement une perte de chaleur, pour conserver assez chaude la colonne d'air qui le produit, température que les expériences faites à Wesserling, ont montré ne pouvoir pas avantageusement être descendue au-dessous de 400 à 500°. On vient de voir combien ce procédé est coûteux.

239. *Autres procédés.* On a employé pour le remplacer d'autres procédés, dont voici les principaux :

1° Tirage par l'excès de poids d'une colonne d'air brûlé et refroidi ;

2° Tirage par l'impulsion d'une colonne verticale de flamme rouge placée avant l'appareil refroidisseur ;

3° Tirage par un jet de vapeur ;

4° Tirage par un procédé mécanique, le ventilateur, par exemple.

Bien que cette question si importante, ne puisse être ici étudiée et développée, et réclame un travail spécial, cependant, nous allons donner en peu de mots un exemple de chacun de ces procédés.

240. *Tirage par l'air brûlé refroidi.* L'air qui a servi à la combustion, contient une quantité d'acide carbonique qui varie de 7 à 15 0/0 ; or, l'acide carbonique étant plus lourd que l'air, à température égale, il s'ensuit que, si la colonne d'air brûlé qui sort d'un fourneau, était *complètement refroidie*, et jetée alors dans une cheminée *descendante*, elle y tomberait par son excès de poids, et produirait un tirage aussi puissant que le procédé ordinaire, mais beaucoup plus économique, puisqu'ici presque toute la chaleur peut être utilisée, et que plus on l'utilisera complètement, meilleur sera le tirage. M. d'Arcet a employé ce procédé avec plein succès au chauffage d'une étuve ; et en le combinant avec le procédé ordinaire, nul doute qu'il ne donne d'excellents résultats. On peut, par exemple,

faire monter dans une colonne de tuyaux de tôle, la fumée produite par un fourneau d'un usage quelconque : puis on fait parcourir à ce tuyau, pour chauffer des ateliers, ou un séchoir, une longueur horizontale, suffisante pour refroidir complètement sa fumée, et on la laisse alors descendre dans une cheminée renversée jusqu'au bas du bâtiment.

241. Si le combustible employé est du bois, la fumée contiendra considérablement d'eau, environ 0 k. 400 par kilog. brûlé; l'appareil devra être disposé pour laisser écouler cette eau qui, par le refroidissement du tuyau, se condensera et servira ainsi au chauffage. La perte totale de chaleur par ce procédé, dans les appareils bien proportionnés et bien disposés, ne devra pas s'élever à plus de 10 ou 15 p. 0/0.

242. *Tirage par une cheminée placée avant la chaudière.* M. Péclet a proposé de placer la cheminée avant le générateur, afin de pouvoir ainsi produire le tirage, et utiliser ensuite complètement toute la quantité de chaleur développée par le combustible. Quelques essais ont été faits : nous pensons que l'on y a rencontré des difficultés pour obtenir une bonne combustion ; mais le tirage a été excellent, et la fumée sortait à 60° seulement, c'est-à-dire complètement refroidie. Nous croyons donc pleinement au succès de ce procédé ; nous n'avons pas eu occasion de l'employer. Au reste, on verra plus loin qu'en plaçant des générateurs à la suite des foyers à réchauffer, c'est-à-dire bien loin du foyer, on obtient la même quantité de vapeur que l'on aurait eue d'un foyer direct.

243. *Tirage par un jet de vapeur.* Ce procédé, utilisé par les anciens, décrit par Vitruve, pour augmenter le tirage dans les cheminées, et rappelé par M. Pelletan, a aujourd'hui les plus hautes applications dans les locomotives (209).

M. Pelletan l'a appliqué avec bonheur à un appareil destiné à chauffer l'eau des bains, et dont nous parlerons plus loin. Il consiste à lancer dans le tuyau servant de cheminée, et dans

le sens du courant, un jet de *vapeur*, au moyen d'un tuyau étranglé à son extrémité : ce jet donne à la colonne d'air qu'il traverse une vitesse proportionnée à son intensité.

Ce moyen permet de conserver à un foyer toute la puissance de son tirage en refroidissant complètement la fumée.

244. *Conditions pour qu'il soit utile.* Mais il ne peut être employé avec avantage que dans deux cas : l'un lorsque la vapeur que l'on injecte ne coûte rien, comme celle qui provient d'une machine sans condensation, et ne peut pas être autrement utilisée, car sans cela ce mode de tirage coûterait plus que le procédé ordinaire des cheminées; l'autre quand, après avoir ainsi produit le tirage par l'injection de la vapeur, on peut utiliser celle-ci à chauffer de l'eau; c'est ce qu'on fait aux bains Vigier.

245. *Tirage mécanique par un ventilateur.* Dans ce procédé la vitesse est imprimée à la colonne de fumée par un ventilateur mû par une machine à vapeur, une roue hydraulique, un manège ou un homme.

C'est le procédé le plus économique : si en effet on veut faire passer à travers un fourneau la quantité d'air nécessaire pour brûler 60. k. de houille par heure et pour produire une force de 20 chevaux, c'est-à-dire 1560 m. cubes d'air, il suffit d'employer la force d'un homme, ou le sixième d'un cheval de vapeur, qui en houille brûlée ne coûte pas plus de 1/2 k. par heure : tandis qu'avec le procédé ordinaire ce tirage coûte 25 à 30 k. de houille.

L'économie à obtenir est donc considérable. Quant à l'allure du fourneau, elle n'est en rien altérée. MM. Braithwaite et Ericsson ont employé ce procédé sur les locomotives, et dans un tableau qui précède, on a vu quels bons résultats on en a obtenus. Il sert encore à la chaudière de la machine qui épuise les eaux du tunnel de la Tamise.

246. Le ventilateur que M. Combes, en suivant les traces de

M. Poncelet, a porté à un degré de perfection tout nouveau, est donc, toutes les fois que l'on peut disposer d'une puissance mécanique régulière et économique, le meilleur moyen à employer pour utiliser la chaleur perdue des cheminées, et notre avis est que, presque toujours, les meilleures dispositions seront celles qui, au lieu d'augmenter simplement, ou de compliquer le premier appareil de chauffage, four, etc., ajouteront à la suite un autre appareil différent.

247. *Seconde chaudière à la suite de la première.* Une observation très-remarquable de MM. Roman et comp. de Wesseling, nous a confirmés dans une pensée que les faits nous avaient fait naître. C'est que, pour augmenter le produit direct du combustible, il suffisait d'ajouter un second générateur à la suite du premier, et d'y faire passer l'eau destinée à l'alimentation de celui-ci. Il est évident qu'en employant trois générateurs successifs, de longueur suffisante, et faisant passer dans les deux derniers de l'eau destinée à tout usage, activant en même temps le tirage par un ventilateur, pour lui conserver toute son intensité, on arriverait sans peine à refroidir presque complètement la fumée.

248. *Chauffage de la filature de Melun par la fumée.* M. Grouvelle a appliqué ce procédé au chauffage de la filature de coton de MM. M., à Melun, en 1830. La dépense de combustible, pour le chauffage à vapeur qui y était établi, était de 3,000 fr. environ. Il a remplacé le chauffage à vapeur, dans une des salles de 110 m. de longueur, par un tuyau en tôle mince, de 0 m. 19 diamètre, qui, dans son aller et retour, parcourait la longueur de la salle; il y a appelé, au moyen d'un ventilateur à grande vitesse, une partie de la fumée d'une machine de trente chevaux, prise à la partie supérieure du dernier carneau, et la chaleur dans l'atelier a été, sans difficulté, portée et soutenue à 16° centigrades, pendant les plus grands froids de l'hiver. La destruction de ce

bel établissement a empêché de compléter son chauffage par le même procédé.

Rien de plus simple que cette application, et de plus économique à établir et à utiliser.

249. *Chauffage d'un réservoir d'eau par la fumée.* Le même ingénieur a fait passer la fumée d'une chaudière de dix chevaux à travers le réservoir à eau des bains russes à Paris, au moyen d'un tuyau en tôle. (Voir *pl. 15, fig. 4 et 5*, les dispositions de cet appareil.)

En donnant à ces tuyaux des passages suffisants, il a réussi à chauffer l'eau du réservoir à 35 ou 40°, sans altérer en rien le tirage.

250. Nous donnerons encore quelques exemples d'emploi de la chaleur perdue, et particulièrement celui de la flamme des fours appliquée dans les forges, à la production de la vapeur pour le service des machines.

CHAUDIÈRES A VAPEUR CHAUFFÉES PAR LA CHALEUR DES FOURS A PUDDLER ET A RÉCHAUFFER.

251. *Premiers essais en ce genre.* De 1828 à 1830 on s'est occupé en Angleterre à utiliser la flamme qui s'échappe du gueulard des hauts-fourneaux ; pour chauffer l'air employé à la fusion des minerais. On a été plus loin en France : on a bientôt pensé à utiliser aussi la chaleur perdue des fours, pour suppléer à la puissance mécanique dont manquent la plupart des usines à fer. On sait que la nécessité de rester à proximité des exploitations de bois et de minerais, empêche trop souvent les maîtres de forges de se placer sur de grands cours d'eau, et que d'ailleurs ces cours d'eau s'épuisent pendant l'été, de telle façon qu'après avoir disposé de 60 ou 80 chevaux en hiver, on est souvent réduit à 3 ou 4 pendant les deux ou trois mois de plus grande sécheresse. D'un autre

côté, l'énorme dépense de combustible d'une machine à vapeur de 50 ou 60 chevaux, arrêtaient les maîtres de forges, et empêchaient le développement de leurs usines, dont la fabrication se trouvait ainsi limitée par la puissance inégale du moteur. L'application de la flamme perdue des fours, au chauffage des chaudières à vapeur, leur a ouvert un développement illimité, et une large source de bénéfices.

252. Les ateliers d'Imphy paraissent être les premiers qui aient adopté ces dispositions en France, pour le chauffage des chaudières à basse pression. Ils ont été imités, mais avec moins de succès, par les forges de Châtillon : et plus tard par Abainville; et depuis cette époque, l'un de nous a monté sur fours une machine de 35 chevaux à haute pression, dans les usines de Sionne, travail dont nous allons rendre compte. Montataire et d'autres établissements ont suivi cet utile exemple. La question qui était posée à Sionne était donc celle-ci : Obtenir un bon chauffage de chaudières et un rapide développement de vapeur à 5 atmosphères, sans ralentir le tirage des fours ou leur travail, sans altérer la qualité des produits, ni augmenter la dépense de combustible et surtout les déchets.

253. *Des fours à puddler et à réchauffer.* Dans les forges à l'anglaise, on emploie deux espèces de fours pour la fabrication du fer : les fours à puddler qui transforment la fonte en fer malléable, et ceux à réchauffer, où l'on chauffe au blanc soudant les fers, pour les passer au laminoir.

Ces fours ne dépensent pas la même quantité de combustible. La consommation moyenne des fours à puddler est de 85 kil. de houille par heure, et celle des fours à réchauffer de 100 à 110 kil.

254. De plus, la quantité de chaleur utilisée dans les fours à puddler est plus considérable, parce qu'il n'y a pas là chauffage simple comme dans les autres fours, mais bien décomposition. Puis, on emploie une première fois la flamme

à chauffer les gueusots jusqu'au rouge, avant de les jeter dans le four; enfin les portes de ces fours sont plusieurs fois et longtemps ouvertes à chaque opération.

On conçoit donc que la quantité de vapeur à obtenir par la flamme sortant de ces appareils, variera suivant l'espèce de four, suivant leurs consommations de combustible, et aussi suivant leurs qualités différentes dans chaque localité. Mais les faits sont toujours comparatifs, et les manufacturiers appliqueront aisément à leurs besoins spéciaux la marche suivie et les résultats obtenus chez M. Gustave Muel, à Sionne.

255. Les proportions les plus ordinaires des fours à puddler et à réchauffer donnent :

Pour la section de la cheminée, 40 à 45 kil. de houille par 10 décim. carrés en 1 heure; et pour la section des grilles, 4 fois la section de la cheminée. A Sionne, la mauvaise qualité d'une partie de la houille, a fait réduire à 3 1/2 le rapport de la grille à la section de la cheminée, dans les fours à puddler, afin de donner une grande activité au tirage : ces grilles ont à peu près 0 m. 66 ; leur cheminée, sans chaudière à vapeur à la suite, avait 0 m. 44 de côté, ou à peu près 0 m. c. 20.

Celle des fours à réchauffer avait 0 m. 50 de côté, ou 0 m. c. 25, et la grille 1 m. carré.

256. *Sortie des fours.* A la sortie de ces fours, et avant leur entrée dans la cheminée, on réserve toujours un *étranglement*, de l'action duquel il faut se rendre bien compte. Cet étranglement, bien qu'il réduise le passage à moitié à peu près de la cheminée, étant trop court, n'influe pas sensiblement sur la quantité brûlée en une heure; de même que, d'après les expériences très-remarquables faites à Toulouse, par M. Daubuisson, la fermeture de plus de moitié d'une valve dans une longue conduite, ne diminue pas sensiblement la quantité d'eau débitée. Cet étranglement a pour objet de concentrer la cha-

leur, et de la faire pour ainsi dire suer sur les parois latérales, et sur la sole qui est au-dessous du courant de flamme ; condition indispensable pour chauffer le métal qui recouvre la sole.

Sans cet étranglement, en effet, toute la chaleur développée se porterait au-dessus du courant de flamme, comme cela a lieu sous les chaudières à vapeur et autres appareils, et n'agirait que sur la voûte supérieure, au lieu de chauffer inférieurement le métal, seul objet du travail, et de plus elle passerait immédiatement dans la cheminée.

257. Cette disposition d'étranglement serait mauvaise sous des chaudières à vapeur ; là, au contraire, toute l'action doit se porter sur la paroi métallique placée au-dessus du feu, et non pas sur les côtés et en-dessous, ce qui brûle les parois de briques du foyer, rougit la grille et donne par conséquent une perte notable (75).

258. *Dimension des chaudières.* Le premier point était de déterminer la dimension des chaudières à employer. En l'absence d'aucun résultat connu sur ce sujet, M. Grouvelle a pensé à donner une large surface aux chaudières employées, qui ne devaient pas recevoir l'action du feu immédiatement au-dessus du foyer, et par conséquent produire autant de vapeur par chaque mètre carré ; ainsi, à une machine de 30 chevaux, il a donné près de 50 chevaux de chaudière, et cet excès de surface, loin de nuire en rien au tirage, a fourni, comme on le verra, d'excellents résultats. Ces chaudières ont été réparties : sur les fours à réchauffer, 20 chevaux ; sur les fours à puddler, 15 chevaux.

259. Ces grandes chaudières présentent un autre avantage, c'est d'emmagasiner, quand la machine est arrêtée, pendant l'intervalle des passes, une partie de la vapeur produite, et d'éviter ainsi d'en laisser échapper une aussi grande quantité dans l'air. On verra, plus loin, que l'on doit porter encore plus haut la dimension des chaudières.

260. *Du fourneau.* La question relative à la construction du *fourneau* qui enveloppe chaque chaudière, a été ainsi résolue. Lorsque la flamme du four arrive sous la chaudière à vapeur placée à sa suite, elle travaille et se refroidit, comme si elle avait été produite par un foyer placé directement sous la *chaudière*, sauf une moindre intensité d'action chauffante. La fumée, pendant sa circulation autour de la chaudière et dans la cheminée, où elle se rend, se trouve dans les conditions ordinaires de la fumée des fourneaux à vapeur, dont nous avons tracé les lois de construction. Il faut donc donner aux carneaux qui circulent autour de la chaudière, et à la partie de la cheminée qui suit les carneaux, des dimensions plus grandes que celles exigées pour le four seul, et égales à celles que réclamerait la même quantité de combustible brûlée directement sous la chaudière (80). Aucune des conditions d'un bon tirage, d'une consommation déterminée et d'un bon travail, ne sera alors changée, ni pour le four, ni pour la chaudière.

261. *Carneaux et cheminée.* La dimension des carneaux autour de la chaudière et de la cheminée à la suite a donc été réglée à raison de 0 m. c. 10 de section au moins, par 30 à 33 k. de houille à brûler par heure; tandis que nous avons vu les cheminées des fours seuls, être réglées à 40 et 45 k. de houille par heure pour la même section.

262. *Passage direct à la cheminée.* On a eu soin de réserver un passage direct pour jeter la flamme du four dans la *cheminée*, lorsqu'on ne veut pas chauffer la chaudière. Ce passage, et la partie de la cheminée qui le dessert seul, ont conservé l'ancienne proportion de 0 m. 10, par 40 k. de houille à l'heure; de sorte que la cheminée a ainsi deux sections différentes: l'une, moindre en bas, dans toute la partie qui dessert le four seul avec la flamme rouge; l'autre, plus grande, à partir du point où rentre la fumée en partie

refroidie, qui a circulé dans les carnaux de la chaudière.

263. *Nécessité d'élargir les carnaux à mesure que la fumée se refroidit.* C'est qu'en effet, plus une flamme est éloignée du foyer où elle s'est développée, plus elle a travaillé, et par conséquent plus elle est refroidie, plus on doit lui donner de passage dans les carnaux, pour compenser la diminution de vitesse par une augmentation de section, et conserver toujours le même tirage. C'est le principe fondamental de la construction des fourneaux à vapeur appliqués sur des fours.

264. *Expériences de M. Championnière.* Les expériences que M. Lucas Championnière a eu occasion de faire plus tard, à Sionne, sur ces fourneaux, et les modifications utiles qu'il y a apportées d'accord avec M. Grouvellé, ont prouvé qu'il y avait utilité à augmenter encore un peu les sections, et ont démontré qu'au-dessous de 0 m. 28, pour le four à puddler, c'est-à-dire, de 30 k par 0 m. 10, le tirage et le travail souffraient toujours. Il a reconnu enfin toute l'importance du principe fondamental que nous venons de poser.

265. *Détails d'un fourneau.* Entrons dans quelques détails sur la construction d'un fourneau avec chaudière placé à la suite d'un four à puddler, où la flamme, ne possédant plus à sa sortie une température aussi élevée que celle du four à réchauffer, exige plus de soins, pour que le travail du four ne souffre pas du service de la chaudière. (*Pl. 13, fig. 1, 2, 3, 4, 5 et 6.*)

Les considérations qui précèdent, nous ont fait porter la section des carnaux de la cheminée à 0 m. 32; c'est-à-dire, 27 k. de houille par 0 m. 10 de passage; les bouilleurs ont été posés à 0 m. 28 au-dessus de leur sole, et on a donné à ce premier carneau *a* une largeur de 1 m. c. 20, afin de laisser un écoulement rapide à la flamme sortant du petit four *b*. Cette augmentation est prise sur la largeur seulement, et graduellement, à mesure que la flamme avance sous les bouilleurs *c*;

quant à la hauteur de 0 m. 33, qui est celle de sortie du petit four, elle est réduite à 0 m. 28, en baissant la voûte *e* seulement.

266. Si, au lieu de diminuer la hauteur seule de la voûte, on était arrivé au même résultat en relevant la sole *f* par un rampart, la flamme aurait fait chalumeau sur le fond des bouilleurs, et les aurait brûlés.

Ces accidents sont assez fréquents sous les chaudières montées à flamme perdue, quand on adopte des dispositions de ce genre pour l'arrivée de la flamme aux bouilleurs.

267. La chaudière *g* est tournée de manière que la bouche *h* des bouilleurs soit du côté opposé à la cheminée *i*, et puisse sortir du fourneau, être ouverte et nettoyée à volonté.

268. Après avoir suivi la sole dans toute sa longueur, la flamme passe de dessous les bouilleurs sous la chaudière, par deux ouvertures latérales *kk'*; sa division en deux courants est facilitée par un petit mur *l*, en forme de coin, placé au milieu des bouilleurs.

Les dimensions de ces passages *m* sont : 0 m. 33 sur 0 m. 60; cette augmentation dans les conduits, a pour objet de compenser l'augmentation de frottement et la réduction inévitable de vitesse qu'éprouve la flamme en se divisant, et en tournant dans un coude. Les observations de ces ingénieurs leur ont prouvé l'importance de cette disposition.

269. La disposition inverse donnée à la chaudière, pour laisser les bouches *h* des bouilleurs à l'arrière des fourneaux, et pour faire arriver la flamme et ressortir la fumée du même côté, qui se trouve ainsi opposé à la bouche des bouilleurs, ne donne à cette flamme qu'un parcours sous les bouilleurs, et un second en retour sous la chaudière. Au lieu de partager le carneau de retour en deux, on l'a laissé réuni en un seul *m*. Ce qui donne plus de surface de chauffe, et moins de frottements. Afin de rendre cette section uniforme,

ou a établi à l'arrière et sous la chaudière, un mur conique *n* pareil à celui qui est situé sous les bouilleurs; son but est, en diminuant l'espace qui se trouve dans cette partie, de conduire la fumée suivant le sens du courant qu'elle doit suivre; ici la section est de 0 m. 42; on y est arrivé graduellement, et les mêmes *passages* sont conservés en contournant les tubulures des bouilleurs et continués jusqu'au sommet de la cheminée *i*.

270. *Cheminée.* Cette cheminée est celle même du four; sa hauteur varie de 12 à 13 m. Cette hauteur est largement suffisante même avec la chaudière à la suite, et comme nous l'avons dit, pour que la même cheminée desserve à volonté le four seul, ou le four et la chaudière, à la suite, on lui donne au bas en *o* la section de 0 m. c. 20, nécessaire au four, et plus haut en *i* celle de 0 m. c. 40 à 0 m. c. 42, nécessaire à la chaudière *g*.

En effet, le travail des fours, ou une suspension dans celui de la chaudière, exige que l'on puisse jeter directement la flamme du four dans la cheminée. A cet effet on a établi au bas de la cheminée *o*, deux registres *p* et *q*, composés d'une boîte en fonte ouverte sur un côté et garnie de briques sur la face exposée au feu; l'un *p* est destiné à fermer le passage du four à la cheminée quand on envoie la flamme sous les bouilleurs *r*; et l'autre *q* à intercepter cette dernière communication quand on veut envoyer directement la flamme dans la cheminée.

271. Pour les fours à réchauffer on a suivi des dispositions analogues, en ayant égard à la plus grande quantité de combustible qu'ils brûlent, et augmentant par conséquent la section sous les bouilleurs.

272. *Résultats.* En donnant ainsi aux chaudières de larges dimensions, et à la construction des carneaux les proportions et les soins minutieux que nous avons indiqués, on obtient un résultat très-remarquable. C'est qu'avec les fours à réchauffer la quantité de vapeur produite, par rapport à la

houille brûlée, est à peu près la même que si l'on brûlait le combustible directement sous la chaudière. Avec le four à puddler, la quantité de chaleur utilisée ou perdue par le four est un peu plus grande. En effet, on obtient régulièrement 4 à 5 k. de vapeur à 5 atmosphères pour 1 k. de houille brûlée sur la grille des fours à réchauffer, et 3 à 3 k. 50 avec les fours à puddler.

273. *Produit des deux espèces de fours.* Ainsi donc, on obtiendra d'un four à réchauffer consommant 110 k. de houille par heure, environ 520 k. de vapeur, et d'un four à puddler à peu près 300 k. pour 90 k. de houille brûlée sur grille, ce qui correspond à un travail de 25 chevaux pour le premier four, et de 15 chevaux pour le second, en admettant 20 k. de vapeur pour un cheval dans une machine à détente sans condensation. La puissance sera de 30 à 35 chevaux pour les premiers et de 20 chevaux pour les seconds, si la machine est à condensation et détente, ne dépensant que 15 k. de vapeur par heure. Ainsi nous sommes d'avis de donner aux chaudières que l'on placera à la suite des fours à puddler, 16 à 18 chevaux de puissance, et 25 à 30 à celles qui seront établies sur des fours à réchauffer.

274. Disons plus, la machine pourra produire un effet utile plus considérable encore, parce que, tandis que le travail du fer est intermittent, la formation de vapeur est continue. Nous admettons que deux fours à réchauffer, travaillant en échantillons différents, donnent de la vapeur en quantité largement suffisante pour leur travail au laminoir; le four à puddler suffit également au travail du cinglage au marteau et au laminoir.

275. Nous avons dit que le travail des laminoirs était intermittent, et la production de vapeur continue; on conçoit donc qu'il doit y avoir des pertes fréquentes de vapeur : en augmentant le volume de la chaudière, on obtient une surface de chauffe plus considérable et par suite un meilleur emploi

du combustible; mais cette chaudière, à moins d'avoir une capacité inusitée, ne pourra pas servir de réservoir suffisant de vapeur, et par conséquent empêcher la perte qui s'en fait à chaque instant : afin d'obvier à ce défaut qui devient important quand on ne met pas en feu une série assez grande de fours, pour avoir un travail continu, il faudrait une machine ayant un grand cylindre avec une détente variable, et des chaudières capables de supporter de très-hautes pressions, et y comprimer la vapeur au lieu de la perdre; ce qui, vu l'économie de production de la vapeur, présenterait presque toujours plus d'inconvénients que d'avantages.

276. *Foyer additionnel.* Sous un des bouilleurs de l'une des chaudières de Sionne dont nous donnons le dessin (fig. 2), nous avons placé un foyer et une grille *r*, afin de pouvoir chauffer à feu nu, et se servir encore de la machine à vapeur quand le four ne marche pas; il suffit alors d'enlever les briques posées de champ, sur la grille et déboucher le passage du four, ce qui se fait aisément par le cendrier *s*.

277. Lors de la première mise en activité des chaudières à vapeur de Sionne, le four à réchauffer continua à fonctionner aussi bien que précédemment; mais le travail du four à puddler fut ralenti, et la qualité des produits légèrement altérée. Ce dernier défaut disparut promptement, et n'exigea de la part du maître puddleur que quelques légères variations dans la conduite du feu et du puddlage; mais pour rendre au travail toute son activité, il fut obligé d'élargir légèrement l'ouverture de sortie du four. En effet l'étranglement du four à sa sortie, a pour objet d'établir une résistance qui favorise le chauffage de la sole et du métal dont elle est couverte; or, en plaçant une chaudière à la suite du four, on établit une seconde résistance, et par conséquent, si on ne diminue pas celle qui est due à l'action première de l'étranglement, l'action de ces deux résistances réunies est trop forte, et le travail

du four se ralentit; si le tirage de la cheminée était trop puissant, au contraire, il faudrait réduire la section de l'étranglement.

278. *Chaudières placées au-dessus des fours.* Les chaudières montées à Sionne, sont établies derrière les fours, et leurs cheminées; mais lorsque la localité trop occupée, ne permet pas ces dispositions, on monte les chaudières au-dessus des fours et sur des colonnes de fonte, en ayant soin de relier très-solide-ment le fourneau.

La flamme sort alors par le haut du four, et arrive sous les bouilleurs. Mais il faut avoir grand soin de ne pas porter cette flamme directement sur les bouilleurs, parce que les pointes des jets de la flamme, agissent comme des chalumeaux, et percent rapidement la tôle. On évite cet accident en amenant la flamme sous une voûte en briques *a* (fig. 6), qui la réfléchit et la ramène horizontalement sous les bouilleurs, comme nous l'avons indiqué pour les chaudières placées à la suite des fours.

279. Quand on monte dans une forge une machine à vapeur avec chaudières sur fours, il faut avoir soin d'établir un appareil qui permette d'alimenter à volonté ces chaudières lorsque la machine est arrêtée : cet appareil doit être, soit un cylindre en tôle pour alimenter à pression, comme nous le décrivons (*Pl. 9, fig. 14*) : de dimensions suffisantes, et communiquant à chaque chaudière, soit une de ces pompes alimentaires mues par un petit cylindre de pompe à feu, tels qu'on les emploie à bord des steamers. Il est bon aussi, si la machine ne condense pas, d'employer la vapeur à chauffer l'eau d'alimentation, pour éviter le refroidissement des chaudières.

Ainsi, en résumé, avec les soins nécessaires, on peut établir des chaudières à vapeur dans les forges à la suite des fours, sans ralentir ou gêner leur travail, sans altérer leurs produits, ni augmenter leurs déchets. Dans ces chaudières, la vapeur se développe activement à 5, 6 et 7 atmosphères,

et leur produit est de 15 chevaux avec un four à puddler, 25 chevaux avec un four à réchauffer.

280. *Chaudière à vapeur placée sur un haut-fourneau.* Une chaudière à vapeur a été chauffée par la flamme perdue du gueulard sur le haut-fourneau de Niederbronn; elle fournit de la vapeur à une machine de Woolf, de 12 à 15 chevaux, qui conduit une soufflerie. D'après des expériences faites dans le but de mesurer la quantité de chaleur utilisée à produire de la vapeur, à 2 1/2 atmosphères de pression, les 200 k. de charbon de bois brûlés en une heure, ont donné au moins 284,700 calories en vapeur produite, c'est-à-dire un effet utile de 20 0/0 et une puissance de 20 chevaux au moins.

281. *Emploi de la vapeur perdue dans une machine sans condensation.* Lorsque les circonstances locales exigent l'emploi d'une machine sans condensation, la dépense de combustible est de 40 à 50 0/0 plus élevée que quand on condense, et il se perd, avec la vapeur qui a travaillé, une quantité considérable de chaleur, dont on peut encore obtenir un bon service. Dans une machine de 30 chevaux, au prix de 4 fr. les 0/0 k. de houille, la vapeur perdue équivaut à 1,500 k. de houille et à une somme de 60 fr. par jour.

Le chauffage de l'eau destinée à alimenter la chaudière de la machine, ou à tout autre usage, comme blanchiment, teintures, etc., celui des ateliers, séchoirs, etc., sont les premiers emplois qui se présentent. Un appareil bien disposé peut recueillir toute cette chaleur, sans gêner en rien la marche de la machine, et, par conséquent, sans donner au piston une arrière-pression.

282. *Chauffage de l'eau d'alimentation.* Dans tout fourneau destiné à produire de la vapeur, un sixième environ du combustible est employé à élever à 100° l'eau que l'on introduit froide dans la chaudière. Les appareils dont nous donnons la description, la portent à 90°, et comme on peut la compter en

moyenne, pendant toute l'année à 12°, il s'ensuit que l'économie obtenue est d'un neuvième.

La première pensée qui se présente est de chauffer directement l'eau, en y condensant cette vapeur. Mais si l'on fait plonger le tuyau de vapeur dans l'eau, on donnera lieu à une pression qui chargera la machine. Si, au contraire, on fait passer la vapeur à la surface de l'eau, on ne chauffe pas également ni rapidement la masse entière, parce que l'eau chaude, étant plus légère, reste à la surface, et défend les couches inférieures de l'action de la vapeur. Le chauffage est bien plus complet et plus égal, en faisant agir la vapeur à travers une enveloppe métallique.

On trouvera, plus loin, des détails sur le condenseur de M. S. Hall, qui est construit sur ce principe.

283. *Mauvaise disposition d'appareil.* Le but que se sont proposé quelques constructeurs, dans des appareils de ce genre, a été de multiplier considérablement les surfaces, et les circonvolutions que parcourent l'eau et la vapeur, afin de réduire l'emplacement occupé par l'appareil. Mais ils ont ainsi compliqué leurs dispositions sans profit, rendu les ajustements difficiles à faire, faciles à déranger; et comme ils y ont refoulé l'eau froide au moyen de la pompe alimentaire pour la chauffer, et la faire passer immédiatement dans les chaudières, il en résulte des chocs réitérés et des ruptures fréquentes, occasionnées inévitablement par la résistance des 5 ou 6 atmosphères de pression qui réagissent dans les générateurs.

284. *Dispositions à adopter.* Au lieu de refouler ainsi l'eau dans l'appareil de chauffage contre la pression des chaudières, il faut y chauffer cette eau, que l'on y fait descendre d'un réservoir supérieur; puis on l'aspire au moyen de la pompe alimentaire, qui l'envoie alors directement dans les chaudières, sans circulation et sans choc. Il est nécessaire que l'appareil, ou au moins le réservoir, soient placés à 2 ou 3 mètres au-

dessus de la pompe, pour que la pression de cette colonne d'eau puisse soulever les clapets, qui ne s'ouvriraient pas si la pompe était obligée d'aspirer, de bas en haut, de l'eau presque bouillante; parce que quand le corps de pompe est rempli d'eau à 60 ou 80°, la vapeur que cette eau développe, à chaque coup de piston, suffit pour remplir la capacité du corps de pompe, empêcher le vide de se former et, par conséquent, l'eau de monter. Ces dispositions évitent tout choc et toute rupture.

285. Cependant, mieux vaut toujours employer des appareils très simples, faciles à construire, à monter et à réparer. Le meilleur nous paraît être un double tuyau (*Pl. 11, fig. 4*), dont l'un, intérieur *a* est en cuivre, et l'autre, extérieur *b* en fonte; la vapeur passe dans le tuyau central *a*, auquel il faut donner un grand diamètre, d'abord pour que la surface de refroidissement soit suffisante; mais surtout pour que la sortie de la vapeur et le travail de la machine ne soient pas gênés: dans le même but on arrondira tous les coudes, et on évitera tous les étranglements.

Dans le tuyau extérieur *b*, circulera l'eau destinée à être chauffée; on l'introduira froide par une extrémité, au moyen d'un tuyau *c* descendant du réservoir, et après qu'elle aura circulé et se sera échauffée entre les deux tuyaux en sens contraire de la vapeur, la pompe alimentaire l'appellera par son tuyau d'aspiration *d*, qui est branché sur le tuyau de fonte *b*.

286. L'appareil dont nous donnons le tracé et qui est en même temps destiné à chauffer de l'eau pour le blanchiment des toiles, et à chauffer les ateliers et un séchoir, est tracé pour la filature de lin de Gerville (Seine-Inférieure) par M. Grouvelle. La série des calculs nécessaires à l'établissement de cet appareil sur de bonnes proportions, et sa description accompagnée de plans détaillés, suffiront pour l'exécuter

sans peine et en varier les dimensions et les applications.

287. *Proportions de l'appareil.* Le moteur à vapeur de la filature de lin de Gerville, construit par M. J.-F. Saulnier, est à haute pression et sans condensation. La profondeur de 120 m. à laquelle il faut chercher l'eau, ne permet pas de condenser, parce que l'élévation de la quantité d'eau nécessaire à la condensation (appendice note 10), soit 4 litres par secondes, aurait absorbé 10 chevaux de force.

La dépense de houille estimée à 125 k. par heure, produit 625 k. de vapeur à utiliser, et réclame une égale quantité d'eau chauffée à 100° pour alimenter la chaudière, ce qui exige la condensation de 120 k. vapeur.

Or, on sait que 1 m. carré de cuivre, en serpentin, exposé au refroidissement d'un courant d'eau extérieur, condense en une heure 100 k. de vapeur; mais comme nous voulons non pas condenser la vapeur au moyen d'un grand courant d'eau, mais chauffer complètement à 90 ou 95° une petite quantité d'eau avec un excès de vapeur, il est prudent de doubler la surface de chauffe. M. Grouvelle a adopté un tuyau (*Pl. 11, fig. 3 et 4*) de 0 m. 10 de diamètre enveloppé dans trois tuyaux de fonte de 0 m. 16 diamètre intérieur, et 2 m. 60 longueur chacun, ce qui donne en surface 2 m. 40.

288. On remarquera que l'on a séparé en deux longueurs la colonne de tuyau de fonte *b* à cause de la disposition des lieux, et pour montrer comme on les doit disposer pour ne pas avoir de trop grandes longueurs de tuyaux de cuivre *a* sans interruption. L'eau froide, descendue d'un réservoir supérieur, arrive par le tuyau *c* dans la double enveloppe de fonte, circule en sens contraire de la vapeur, comme l'indiquent les flèches simples, passe au moyen du tuyau *e* de l'un des tuyaux de fonte dans l'autre, et arrive enfin au tuyau d'aspiration *d* qui la conduit chaude dans la pompe alimentaire *f*. On remarquera que le tuyau de jonction *e* et le tuyau d'aspiration *d* doivent

être branchés à la partie supérieure du tuyau de fonte *b*, parce que c'est là que l'eau se trouve le plus fortement chauffée. . .

289. Les jonctions de ces tuyaux de cuivre se font avec des raccords à vis, brides qui n'exigent que des collets très-petits, et n'empêchent pas ce tuyau de passer au travers du tuyau de 0 m. 16 diamètre, ni l'eau de circuler sans obstacle. Ce tuyau intérieur *a* est relié au tuyau de fonte *b* à l'extrémité *h*, par laquelle on l'a engagé, au moyen d'un collet en cuivre brisé, et de boulons; et à l'autre extrémité *i* au moyen d'une boîte à étoupes refendue par la moitié, et qui s'emmanche ainsi au tour du tuyau de cuivre en se boulonnant sur le tuyau de fonte. Le serrage de l'étoupe graissée de suif, suffit à empêcher le passage de l'eau. Il ne faut pas oublier d'ajuster un petit tube *k* de 0 m. 03 de diamètre, sous le tuyau à vapeur *a* au point le plus bas, pour donner écoulement à l'eau qui se condense, et la recueillir, soit pour l'alimentation de la chaudière à laquelle elle convient très-bien par sa pureté, soit pour tout autre usage.

290. *Chauffage des ateliers.* L'ingénieur a adopté le même système pour établir un chauffage par circulation d'eau qui serve à chauffer les ateliers de la filature, aussitôt que les ateliers seront complètement occupés. (*Fig. 1, 2, 3 et 3.*)

Il a prolongé le tuyau d'échappement de la vapeur *a* avec le même diamètre de 0 m. 10, de manière à l'amener par un caniveau *l* placé sous le sol, à l'extrémité des ateliers: là il le fait monter jusqu'au sommet du bâtiment *m*, il ajuste toute cette colonne montante avec des raccords à vis (*fig. 6*), d'une très-petite épaisseur, pour qu'elle puisse s'engager facilement dans un tuyau de fonte *n* de 0 m. 19, qui l'enveloppe dans toute sa longueur, et pour que la circulation de l'eau qui doit remplir cette enveloppe ne soit pas entravée par ces raccords. Le tuyau de cuivre *a* est maintenu de place en place par deux petits étriers à vis très-minces, et qui sont pris dans les col-

lets des tuyaux extérieurs. Le tuyau de fonte n se fixe aux murs des ateliers par des colliers à vis o .

Le diamètre plus grand donné à ce tuyau de fonte, a pour objet de chauffer à la fois une plus grande masse d'eau, et d'avoir une circulation plus active et plus facile.

291. Cet appareil vertical de chauffage n est branché à chaque étage avec une colonne horizontale de tuyaux de 0 m. 16 $p\ p'\ p''$ mastiqués et boulonnés soigneusement; ceux-ci sont en communication ensemble à l'autre extrémité des ateliers, par un tuyau vertical q dans lequel l'eau doit redescendre après avoir parcouru les colonnes de chauffage des ateliers.

Enfin la colonne p de l'étage inférieur, revient se brancher au bas même du tuyau vertical de chauffage n , pour y ramener l'eau refroidie. Des clés $r\ r\ r$ servent à régler et modérer le chauffage, et à l'envoyer à volonté dans deux salles à la fois. Ces colonnes de tuyaux sont suspendues au plafond par des tresses de fil de fer, et un demi-cercle en fer sur lequel elles reposent. Cette suspension, très-économique et très-solide, a l'avantage de permettre aux tuyaux toute dilatation.

292. *Marche de l'appareil.* Les dispositions ainsi faites, voici la marche de l'appareil. L'eau contenue dans la colonne montante n , est chauffée par la vapeur qui circule dans le tuyau de cuivre a , où une petite soupape u permet même de la retenir avec une légère pression : cette eau en s'échauffant devient plus légère, prend, par conséquent, un mouvement ascensionnel et, après avoir monté dans le tuyau de fonte de 0 m. 19, elle se déverse dans les deux colonnes horizontales $p\ p'\ p''$ des deux étages supérieurs, elle les parcourt dans toute leur longueur, et y dépose la chaleur qu'elle avait reçue de la vapeur; en se refroidissant elle devient plus lourde, et redescend alors nécessairement par l'autre colonne verticale q : puis elle parcourt, en sens contraire, la colonne p du

rez-de-chaussée, et rentre dans le tuyau principal de chauffage n par sa partie inférieure, pour s'y réchauffer et recommencer la même circulation qui se continue, sans interruption, comme l'indiquent les flèches, par la seule force ascensionnelle, due à la dilatation et à la moindre pesanteur de l'eau échauffée.

Au moyen des deux clés r' r'' , des deux colonnes du premier et du second étage, on règle la circulation dans ces deux tuyaux, de manière qu'elle s'opère simultanément dans les deux étages, et que le chauffage soit égal. On peut aussi, en fermant la clé de la colonne du premier étage, ne chauffer que le second étage et le rez-de-chaussée.

293. Si l'on avait quatre étages à chauffer, il serait bon d'établir une circulation continue, en ne ramenant l'eau refroidie dans le tuyau de chauffage, qu'après qu'elle aurait parcouru successivement les quatre étages.

294. *Avantage de ce mode de chauffage.* Aucun procédé de chauffage n'est aussi égal, aussi économique, aussi simple que celui-ci; il convient donc mieux que tout autre aux filatures de lin, à celles de coton dans les numéros élevés, et à toute autre industrie qui demande une grande égalité de température, et qui craint une chaleur sèche. Le chauffage à vapeur, le seul à employer quand il s'agit d'établissements où le nombre des salles à chauffer est considérable, et leurs positions écartées les unes des autres, a le défaut de chauffer et de laisser refroidir les tuyaux trop brusquement, et de ne pas se prêter facilement à soutenir à volonté une température modérée. Le chauffage à l'eau chaude, qui pour ses qualités est aujourd'hui adopté dans toutes les serres, se prête parfaitement à ces variations, au moyen de clés et du simple ralentissement de la circulation.

295. *Air dégagé dans l'appareil.* L'eau que l'on emploie pour remplir et alimenter ce système complet d'appareil, con-

tient toujours une quantité notable d'air en dissolution, et en s'échauffant elle le dégage. Une partie de cet air s'échappe directement par le haut de la colonne montante ; une autre portion est entraînée dans les tuyaux des ateliers ; si celle-ci pouvait s'amasser dans les coudes ou dans quelque autre endroit, elle interromprait totalement la communication entre les colonnes d'eau, et, par conséquent, la circulation. Il faut donc avoir soin de placer *au point le plus élevé*, de l'appareil, un tuyau *v* de 0 m. 04 de diamètre, toujours ouvert, et assez long pour dépasser le niveau du réservoir alimentaire. Ce tuyau permet à l'air de se dégager constamment. On voit, qu'en établissant une prise d'eau avec un robinet, au bas du tuyau principal, on se servira de ce même appareil pour chauffer l'eau destinée au blanchiment des toiles fabriquées.

296. *Chauffage des ateliers avec l'eau de condensation.* Il est également facile de chauffer des ateliers et des séchoirs, avec l'eau de condensation d'une machine à vapeur. L'appareil est aussi simple, et les résultats aussi économiques et aussi réguliers que par la circulation d'eau que nous venons de décrire.

Il suffit pour cela de monter l'eau de condensation jusque dans l'atelier supérieur, au moyen d'une pompe foulante conduite par la machine : on la verse dans un ou deux tuyaux de fonte, qui circulent en descendant d'atelier en atelier, comme dans l'appareil que nous venons de décrire : si ce n'est qu'à leur partie inférieure, ces tuyaux sont fermés par un robinet, qui évacue au-dehors la même quantité d'eau refroidie que l'on y verse par le haut.

Afin que ces tuyaux restent constamment pleins, et ne débordent cependant pas, il faut une disposition, qui règle l'écoulement en rapport avec la quantité d'eau introduite. Pour cela, on peut commander le robinet d'évacuation, par un flotteur placé à la partie supérieure des tuyaux, et qui le fer-

mera ou l'ouvrira suivant que le niveau de l'eau descendra ou montera dans ces tuyaux. Mais le plus simple, sera d'établir en haut de ce système un trop-plein, qui évacuera au-dehors tout excès possible d'eau que la pompe apporterait, et alors on réglerait facilement le robinet inférieur, de manière à débiter un peu moins d'eau que la pompe n'en fournit : ce qui maintiendra l'appareil toujours plein.

297. *Dimensions des tuyaux.* Les tuyaux de chauffage doivent être ici calculés, en partant des bases que nous avons adoptées pour l'appareil à circulation, de manière à compenser par l'accroissement de surface, la moindre température de l'eau qu'on y emploie.

L'eau de condensation marque ordinairement de 36 à 40° centigrades. L'eau des appareils de circulation, en moyenne, comme nous l'avons dit (282), 75 à 80°. Il faut donc doubler la surface métallique employée. Ainsi, pour un atelier de 13 m. de largeur et 3 m. 25 de hauteur, on poserait deux tuyaux de 0 m. 16 de diamètre : à moins que l'on ne préfère employer un seul tuyau doublé de diamètre; ce qui diminue les frais de boulons, supports, etc., mais répartit moins bien la chaleur. En supposant que l'eau, pendant sa circulation, laisse dans les ateliers la moitié de la chaleur qu'elle a acquise dans le condenseur, une machine de 10 chevaux, consommant 160 k. de vapeur, suffira pour chauffer 6 à 8,000 m. cubes d'ateliers, avec 150 m. de tuyaux de fonte.

En effet, 1 m. carré de fonte chauffé par la vapeur ou par une circulation d'eau à 80 ou 90°, entretient à 15° 100 m. cubes d'atelier; et condense, par heure, 1 k. 80 de vapeur.

298. *Prix d'établissement de cet appareil.* Nous terminerons ce chapitre, par une observation qui se rapporte aussi au chauffage à circulation. C'est que les frais d'établissement et d'entretien de ces appareils sont très modiques, parce qu'ils n'exigent ni tuyaux à vapeur, ni retour d'eau en cuivre,

avec brides, colliers, etc., ni robinets multipliés, qui sont exposés à fuir, ni ajustements délicats. Voici le devis approximatif du chauffage d'un établissement de 40 m. de longueur et à trois étages, avec la circulation d'eau par la vapeur perdue.

Tuyaux de 0 m. 16 de diamètre,	
140 mètres à 40 k. le mètre, 5,600 k. à 33 fr. 070 k°.	1,848 fr.
Tuyau de cuivre pour vapeur perdue, 0 m. 10, diamèt.	
Longueur, 15 m., planche 40, 70 k. évalués à 5 fr.	350
Brides et colliers en fer pour le même.	200
Boulons à 2 par mètre courant et à 1 fr. avec masti-	
cage, les deux	280
45 supports composés d'un demi-collier en fer de deux	
tresses de fil de fer et de deux pitons à 4 f. l'un.	150
3 vannes régulatrices à 50 fr. l'une.	150
Montage.	150
Dépense totale.	3,158 fr.

Avec l'eau de condensation, on emploiera :

Tuyaux de fonte, 240 mèl. à 40, k. 9,600 k , 33 fr. 070 k°.	2,880 fr.
Boulons — 480 à 1 fr.	480
Supports, 80 à 4 fr.	320
Pompe foulante et son tuyau.	300
Robinet et tuyau	150
Pose.	150
Dépense totale.	4,286 fr.

N'ayant pas eu occasion d'établir de chauffage de ce genre, nous sommes convaincus que la surface indiquée ici, pour chauffer avec l'eau de condensation, est trop grande, et que l'on arriverait à une température suffisante, même avec un tuyau de 0 m. 16, ou au plus 0 m. 19, comme nous l'employons pour les chauffages à circulation ; ce qui réduirait considérablement les frais d'établissement. Nous conseillerons donc aux manufacturiers qui voudraient adopter

ce procédé, d'établir d'abord un tuyau seul, de 0 m. 19, et d'en observer les résultats, avant d'en poser un second.

299. *Injection de vapeur d'eau dans le foyer des fourneaux à vapeur.* Des expériences nombreuses ont été faites, dans le but d'utiliser mieux la puissance calorifique des combustibles, en injectant de la vapeur d'eau, surtout celle perdue des machines sans condensation, sur la houille embrasée.

On a prétendu, en décomposant ainsi cette vapeur, produire de l'hydrogène et de l'oxide de carbone, qui, en brûlant plus loin, devaient augmenter la longueur et la puissance de la flamme, et donner jusqu'à 25 et 30 0/0 d'économie dans le combustible.

Le principal appareil employé à cet usage, est composé de barreaux de grilles creux, qui reçoivent la vapeur, et la jettent sous la couche de houille embrasée par de très-petits orifices réservés à leur angle supérieur; mais à l'emploi, on a bientôt observé, que cette injection de vapeur mouillait et noircissait la houille la plus voisine et les cendres qui touchent les barreaux, qu'elle engorgeait ainsi; que par suite de cette condensation d'eau et de l'action du feu, les orifices de vapeur étaient bientôt fermés. Qu'enfin les résultats obtenus ne répondaient nullement à ceux promis, et'on y a renoncé.

300. M. Bergouhnioux, professeur de chimie à Reims, a modifié heureusement cette disposition, et lancé le jet de vapeur dans le cendrier et sous la grille, par un tuyau de 0 m. 015 d'ouverture, réglé au moyen d'un robinet. Le résultat, avec une injection modérée (une injection trop forte éteint le feu) est un tirage plus fort pour le fourneau, et pour la machine une marche plus active. Cependant, en examinant ce fourneau, on trouve que les dimensions de ses carneaux, sous une chaudière de 16 chevaux, sont environ quatre fois trop petites pour un bon tirage. Aussi, le feu dort, et nous sommes convaincus, comme M. Bergouhnioux lui-même, que

l'action de ce jet sous la grille est simplement mécanique, et agit comme soufflerie, en entraînant, ainsi que M. Pelletan l'a démontré, un actif courant d'air autour de lui. Avec de bonnes dimensions, ce procédé cesserait immédiatement d'être utile.

Nous devons dire toutefois que nous n'avons pas d'opinion faite ni aucune expérience probante, pour ou contre, sur la question générale : *La vapeur injectée sur un foyer embrasé, agit-elle utilement pour économiser le combustible ?*

Nous sommes seulement portés à penser, que la quantité de chaleur dégagée par la combustion des gaz qu'a pu produire la décomposition de la vapeur d'eau dans le foyer, n'est pas plus grande que celle exigée par cette vapeur pour se décomposer.

301. *Injection d'air dans le cendrier d'un fourneau à vapeur au moyen d'un ventilateur.* Ce procédé employé depuis peu de temps par MM. Jourdan frères, de Cambrai, ne nous paraît pas neuf. D'abord nous ne pensons pas nous tromper en disant que l'on a déjà essayé des fourneaux avec soufflerie. Puis l'injection d'air dans le cendrier, par un moyen mécanique, ou l'appel mécanique de l'air pour produire le tirage par un ventilateur placé à la suite du fourneau, sont exactement la même pensée, et ont exactement les mêmes résultats : c'est la substitution d'un moyen mécanique au tirage par la fumée chaude. Aussi, pour que ce procédé donne des résultats importants, et une économie réelle de combustible, il faut ajouter à la suite des fourneaux auxquels on l'applique, des dispositions d'appareils qui permettent de refroidir complètement la fumée et d'utiliser toute sa chaleur. Car si on laisse échapper la fumée encore à 4 ou 500° l'emploi du ventilateur n'a plus d'utilité : c'est un principe posé sans conséquence tirée.

Il paraît cependant que MM. Jourdan, frères, l'ont employé avec succès pour brûler sans grille des combustibles à flammes courtes, trop maigres et à bon marché, qui exigent une inten-

sité de combustion considérable : Ce serait un résultat intéressant, mais que l'on atteindrait aussi bien en plaçant le ventilateur à la suite du fourneau, comme l'ont fait déjà plusieurs constructeurs (209 et 245). L'expérience paraît avoir prouvé qu'avec de bons fourneaux ce procédé ne donne pas de résultats économiques.

DES EXPLOSIONS.

302. *Excès de pression.* Quelques soins que l'on ait apportés dans la construction et l'entretien des générateurs, quelque rigoureuse que soit la surveillance dont on les entoure, il y arrive de temps en temps des accidents très graves, qui souvent entraînent la mort de plusieurs ouvriers.

Lorsqu'un accident de ce genre est arrivé, il est difficile d'en apprécier les circonstances. Il faut donc, et en même temps pour les prévenir, en exposer les causes les plus ordinaires.

On sait que quand on chauffe de l'eau dans un vase hermétiquement fermé, elle atteint promptement 100°, et lorsqu'elle trouve un espace libre, elle bout et développe de la vapeur qui, ne trouvant pas d'issue pour s'échapper, prend une tension considérable, brise son enveloppe, quelle que soit sa résistance, et produit une explosion. C'est donc à cette cause que l'on peut naturellement attribuer l'explosion des chaudières à vapeur. On observera cependant que cet accident est souvent arrivé dans des chaudières où la tension, peu d'instants auparavant, n'était pas considérable, et qui en avaient supporté de plus grandes. Nous ferons, au reste, remarquer ici que, quand un métal est exposé à une pression plus considérable qu'il n'est capable de la soutenir sans s'altérer, quoiqu'il ne soit pas encore brisé, sa résistance est cependant

tellement diminuée, qu'il suffit ensuite d'un faible effort pour le rompre. Il n'y a donc pas lieu de s'étonner que des chaudières fassent explosion sous une pression à laquelle elles ont déjà résisté. Mais on a observé plus d'une fois, qu'au moment où ces accidents sont arrivés, les soupapes de sûreté étaient libres, et ne laissaient pas échapper de vapeur, ce qui aurait dû avoir lieu, si l'excessive tension de la vapeur était la cause unique des explosions. Il faut donc en chercher une autre.

Le manufacturier ne doit, dans aucun cas, se reposer entièrement sur les soupapes de sûreté, du soin de l'avertir de l'excès de la tension : nous montrerons tout à l'heure qu'elles peuvent encore induire en erreur ; c'est au manomètre qu'il doit toujours s'adresser et à la marche de la machine. Il doit connaître son activité ordinaire, sous la pression et avec l'ouverture de robinet auxquelles elle travaille chaque jour, quand elle est bien entretenue, et s'apercevoir de l'excès de tension de la vapeur, à la vitesse que la machine prend, et à la nécessité où le chauffeur se trouve de fermer presque entièrement le robinet d'introduction.

Sous aucun prétexte, on ne doit laisser charger la soupape de sûreté d'un poids excessif, ni la tension s'élever au-dessus de 4 à 5 atmosphères dans les machines à moyenne pression.

303. *Par le manque d'eau dans les chaudières.* Dans la plus grande partie des explosions connues, la cause en paraît être la négligence des chauffeurs, qui laissent la chaudière se vider presque complètement d'eau, soit par oubli, soit parce que la tige du flotteur ne glisse pas assez librement dans sa boîte à étoupes, soit parce que la pompe alimentaire ne fonctionne plus. La chaudière se trouvant à sec, rougit, et quand on ouvre le robinet de la pompe alimentaire, ou quand on rétablit l'action, d'injection de l'eau sur le métal rougi par le feu, développe instantanément une masse si considérable de

vapeur, que les conduits ordinaires et les soupapes de sûreté ne suffisant pas pour l'évacuer, il en résulte une explosion. L'expérience en a été tentée aux États-Unis, et on a fait faire explosion à un générateur chauffé d'avance au rouge, en y injectant de l'eau. La pression, après cette injection, est montée en une minute de 1 à 12 atmosphères, et l'explosion la plus violente a eu lieu. Cet accident est surtout à craindre avec les chaudières qui ont un foyer intérieur; car, alors, la partie supérieure de ce foyer se trouvant très-élevée dans la chaudière, est exposée à rester souvent à sec et à rougir. Il l'est plus encore quand on donne à ce tube intérieur une forme ovale: car la pression de la vapeur réussit à l'écraser sans peine, vu sa moindre résistance, et de là résulte une explosion très-dangereuse.

304. *Explosions par dépôts formés, et par mauvaise construction.* Lorsque les générateurs ne sont pas soigneusement nettoyés, les croûtes terreuses qui s'y forment, et restent adhérentes au métal, surtout au coup de feu, peuvent se détacher instantanément par une abondante injection d'eau froide dans la chaudière. L'eau se précipite alors sur le métal rougi par le feu, et ce développement instantané d'une grande masse de vapeur occasionne inévitablement une explosion. On a remarqué en Angleterre que beaucoup d'explosions ont lieu le lundi matin, au moment de la mise en activité de la machine arrêtée depuis le samedi soir. La cause de ce phénomène, nous paraît être le soulèvement des dépôts terreux opéré par la première action du feu sur le métal refroidi, effet bien connu, puisqu'on l'emploie quelquefois au nettoyage des chaudières. A ces causes d'accidents on doit opposer le nettoyage exact et bien surveillé des générateurs.

D'autres explosions ont pour cause, de mauvaises formes de chaudières, comme nous l'avons dit en parlant des foyers intérieurs, ou bien comme cela a lieu dans des générateurs

mal proportionnés et incapables du travail qu'on leur demande; ou dont le métal est trop faible, aigre, calciné, ou percé de trop de rivets; ou qui sont exposés à être souvent brûlés dans quelque partie mal défendue par l'eau intérieure, ou enfin pour une mauvaise construction de fourneau qui chaufferait le générateur au-dessus du niveau de l'eau.

Le seul remède sûr est de changer le générateur et de reconstruire le fourneau.

De tous ces défauts peut résulter une explosion. Dans tous les cas; les chaudières de cuivre présentent, comme nous l'avons dit, sur les chaudières de fer battu, cet avantage que, sous une pression trop forte, elles se déchirent le plus ordinairement, sans faire explosion. Il est toutefois probable que si l'on projetait de l'eau dans une grande chaudière de cuivre rougie par le feu, l'explosion aurait encore lieu. On voit aussi, par les causes les plus fréquentes d'explosion que nous avons indiquées, qu'elles peuvent aussi bien se montrer dans les chaudières à basse comme à haute pression, surtout parce que l'on prend moins de précaution dans la construction et la conduite des premières. C'est ce que l'expérience paraît avoir confirmé.

305. Il en est au reste du danger des explosions, comme de tous les dangers qui nous menacent dès que nous voulons agir; celui-ci n'est ni plus imminent, ni plus grave, qu'un grand nombre d'autres sur lesquels on marche chaque jour sans y penser. On voit, par exemple, bien plus rarement des ouvriers tués par l'explosion d'une machine à vapeur, que déchirés par des engrenages ou des courroies, et à plus forte raison précipités du haut d'un toit ou noyés. C'est le devoir rigoureux d'un manufacturier, de prendre pour la sûreté de ses chauffeurs, les précautions les plus minutieuses, comme il doit le faire partout où il y a chance d'accident; mais il faut s'aguerir aujourd'hui contre la première impression de crainte et de

méfiante que produit un instrument trop longtemps entouré d'une réputation redoutable, qui en a retardé la propagation et les grands résultats.

Aujourd'hui même cette réputation de danger ne vit plus que dans quelques têtes faibles, effrayées à la seule pensée d'un voyage sur bateau à vapeur ou sur chemin de fer.

306. *Mesures prises contre les explosions.* La question des mesures à prendre pour prévenir ces accidents, a été l'objet de longues études : son examen a été d'abord confié à l'Académie des Sciences, et sur son rapport, l'administration a par ordonnance prescrit des mesures de sûreté, et publié des instructions sur la conduite des chaudières à vapeur. Nous les donnerons à la fin de cet ouvrage. La Société d'encouragement a provoqué, par l'offre de prix considérables, la découverte d'un moyen de sûreté infaillible, ou au moins de perfectionnement : bien des dispositions d'appareils lui ont été soumises, et quelques-unes mêmes ont été employées pendant un temps plus ou moins long dans des ateliers. Mais jusqu'ici, il faut le reconnaître, rien de net, de certain, de réellement pratique n'a été trouvé. Nous n'avons pas à décrire et à juger tout ce qui a été proposé ; mais en parlant des appareils de préservation contre les explosions, nous y classerons ceux qui nous ont paru les plus simples et les plus efficaces.

307. Parmi toutes les précautions que l'on a prises pour éviter les explosions et les dangers qui en résultent, voici les plus fréquemment employées et les plus utiles.

En premier lieu, il est toujours prudent, et nous dirons même avantageux pour le service, de placer la chaudière hors du bâtiment, ne fût-ce que sous un hangar, et de l'enterrer en terre pour diminuer les pertes de chaleur, et éviter l'élévation obligée de la machine et des ateliers. La combustion est alors alimentée par l'air extérieur, plus frais que celui de l'atelier ; elle est par conséquent plus vive. Enfin, dans un

espace large et ouvert, le renouvellement des bouilleurs est plus facile, et, en cas d'accident, l'explosion amortie par la terre ne serait probablement pas aussi grave. Quant aux pertes de chaleur, en donnant aux parois du fourneau 0 m. 50 à 0 m. 60, elles sont insensibles même en plein air.

SOUPAPES DE SÛRETÉ.

308. En second lieu, toutes les chaudières sont armées de deux soupapes de sûreté (*pl. 3, fig. 1 et 2*), destinées à évacuer l'excès de vapeur, lorsque la tension s'élève trop haut, et réglées de manière à se soulever à un degré déterminé. On trouvera dans l'appendice une explication succincte du principe sur lequel repose la construction des soupapes, et la manière d'en fixer la charge. (Note 6.)

Cependant leurs fonctions ne se règlent pas en pratique aussi exactement que nous le disons dans cette note. Il peut arriver quelquefois, par exemple, que des soupapes mal nettoyées et rouillées adhèrent à la chaudière, de manière à ne pas se soulever à la tension indiquée par le poids et le levier; mais il arrive bien plus fréquemment, que les soupapes de sûreté laissent échapper la vapeur beaucoup au-dessous de la tension pour laquelle elles sont réglées. En effet, quoique bien rodées, le moindre grain de poussière empêche le contact parfait de la soupape avec la chaudière, et livre passage à la vapeur. On est alors obligé de charger le levier, d'un nouveau poids, ou de reculer le poids ordinaire sur le levier, pour augmenter sa pression. Nous ne saurions trop insister sur ce point, car c'est ainsi que l'on s'expose à des accidents graves dans la plupart des ateliers, uniquement pour avoir négligé de nettoyer les soupapes. Les manufacturiers doivent exercer la surveillance la plus sévère sur ce nettoyage, et les faire même roder à l'émeri ou à l'eau, toutes les fois que l'on arrête la

machine. Avec ces précautions, les meilleures et les plus simples que l'on puisse prendre, les soupapes joignant exactement, ne laisseront pas échapper de vapeur, et les chauffeurs, pour éviter cette fuite, ne seront pas obligés de les charger d'un poids tel, que la vapeur à 15 ou 20 atmosphères, pourrait à peine le soulever.

309. Lorsque le siège des soupapes plates est en fonte, la vapeur qui les soulève mange souvent les bords de ce siège : la soupape ne porte plus exactement sur sa surface, et la vapeur qui s'introduit entre deux, agissant sur une étendue plus grande, la soulève plus facilement, et paraît ainsi indiquer une pression supérieure à celle qui existe réellement. Pour éviter cet inconvénient, et réussir à régler exactement le jeu des soupapes, suivant les résultats du calcul, et d'accord avec le manomètre, il faut avoir soin d'y faire ajuster à l'intérieur une bague en bronze *i*, qui résiste beaucoup mieux à la vapeur, et conserve son vrai diamètre (*pl. 3, fig. 1*).

310. *Causes de fuite de la vapeur par les soupapes.* L'ordonnance du 29 octobre 1823, et les instructions qui la suivent, conseillent aux manufacturiers et aux chauffeurs de soulever souvent les soupapes, pour éviter toute adhérence ; c'est une erreur qui a de grands inconvénients, comme nous l'avons dit : l'adhérence des soupapes est si faible, que la moindre pression suffit pour la vaincre, à moins de rouille invétérée, qui ne peut se produire pendant le travail ; et, d'un autre côté, la vapeur qui s'échappe, quand on soulève la soupape, entraîne avec elle des matières terreuses, qui empêchent le contact, et forcent le chauffeur à les surcharger. Il doit, au contraire, éviter soigneusement d'y toucher, ou les roder légèrement avec une clé, en serrant le levier ; s'il voyait la vapeur s'échapper, sans que ce soit par suite d'une haute tension. Mais surtout il ne doit pas oublier de les nettoyer, dès qu'il arrête le feu et la machine.

Au reste, la disposition généralement adoptée pour les soupapes de sûreté, sert d'un utile indicateur pour avertir le chauffeur de l'excès de tension ; et il est certain que, hors le cas d'une production instantanée de vapeur, à laquelle aucune ouverture ne pourrait donner un écoulement suffisant, les soupapes réussissent complètement à arrêter toute augmentation dangereuse de pression, qui se manifesterait pendant le travail des chaudières, quand on arrête les machines, pour quelque temps : pourvu que, dans ce cas, le chauffeur ait toujours soin, si la vapeur a déjà une forte tension, de rapprocher le poids qui charge les soupapes, c'est-à-dire, de diminuer son levier, et, par conséquent, la force avec laquelle il comprime la vapeur. Avec cette simple précaution, l'excès de vapeur s'écoule, et la tension devient promptement stationnaire.

311. Les soupapes des générateurs à basse pression, portent un poids direct, calculé à raison d'une demi-atmosphère d'excédant de poids, ou de $1/2$ k. par chaque centimètre carré de pression.

Les soupapes destinées aux générateurs à moyenne et à haute pression, ne peuvent pas recevoir un poids direct qui serait trop considérable ; mais on diminue le poids employé en le faisant agir au bout d'un bras de levier. Nous donnerons dans l'appendice la formule par laquelle l'autorité calcule la surface des soupapes, en raison de la puissance de la chaudière, et en conséquence un tableau des diamètres des soupapes, en rapport avec les surfaces de chauffe (Note 13).

DES RONDELLES FUSIBLES.

312. Quoi qu'il en soit, il serait utile de trouver une disposition facile de soupape qui ouvrirait à coup sûr une large ouverture à la vapeur, dès qu'elle atteindrait une tension déter-

minée. Toutes celles que l'on a jusqu'ici essayées, sont trop compliquées pour être entièrement satisfaisantes ; la seule qui ait donné d'assez bons résultats est la suivante.

Pour remédier aux défauts des soupapes de sûreté et prévenir toute chance d'accident, on a proposé d'adapter aux chaudières à vapeur des rondelles de métal fusible, ajustées sur une des tubulures de la chaudière. On a réussi à régler la fusibilité de ces rondelles, assez exactement pour qu'elles puissent fondre à une température ou à une tension déterminée. Le seul défaut qu'elles aient présenté dans le principe, était de se ramollir et de laisser échapper la vapeur au-dessous du degré pour lequel elles étaient réglées, ce qui exposait le chauffeur à les voir souvent fondues, et le travail de l'atelier interrompu, sans avoir dépassé la pression de règle. On a paré à cette difficulté, en leur donnant un peu moins de fusibilité : et les manufacturiers prudents, ont encore soin de faire timbrer leurs chaudières à 1 atmosph. au moins au-dessus de la pression à laquelle elles doivent régulièrement fonctionner, afin de se réserver ainsi une marge nécessaire. En effet, l'addition de ces rondelles aux chaudières à vapeur, nous paraît offrir quelque sécurité ; cependant la limite fixée pour leur fusion, par l'ordonnance du 29 octobre 1823, est trop rapprochée. Cette ordonnance ne laisse que 10° de marge entre la température à laquelle travaille ordinairement la machine, et le point de fusion de la première rondelle. Or, dans cette limite, pour les machines de Woolf, 10° ne correspondent qu'à une atmosphère environ, et cette augmentation d'une atmosphère se présente souvent dans le travail, dès que le besoin de serrer une clavette ou une vis, fait arrêter la machine pendant quelques minutes. On sent alors quelle perte le fabricant éprouverait, si, une fois par mois, il lui fallait suspendre ses travaux quelques heures, pour laisser échapper la vapeur de sa chaudière, au moment où la rondelle vient à fondre.

313. *Procédé E. Hall.* Pour parer à cet inconvénient, M. Edw. Hall a proposé d'accompagner chaque rondelle fusible d'une soupape d'arrêt qui, lorsque la rondelle est fondue, permette d'intercepter immédiatement l'écoulement de la vapeur, et de continuer à travailler jusqu'à ce que l'on ait le temps, le soir, par exemple, de renouveler la rondelle sans être obligé de jeter immédiatement à bas le feu, de perdre toute la vapeur et d'arrêter l'atelier pour plusieurs heures. Cette disposition est ingénieuse, assez simple : cependant, nous pensons qu'avec deux atmosphères de marge, on a si rarement besoin de cet appareil, que son utilité est bien faible.

314. La disposition ordinaire des rondelles fusibles, et celle qui en rend le renouvellement le plus facile, est de les ajuster sur une des tubulures de la chaudière, en les recouvrant d'une feuille de toile métallique, et maintenant le tout par une bride en fer et des écrous.

315. *Procédé de Galy Cazalat.* M. Galy Cazalat a proposé à la Société d'encouragement, un procédé qui a été regardé comme devant écarter tout danger d'explosion : on lui a décerné pour cette invention une médaille d'or. Il consiste (*Pl. 10, fig. 4, 5, et 6.*) à fixer au travers de la chaudière, et au-dessus du coup de feu, un tube lié et mastiqué au haut et au bas de la chaudière, et ouvert par en haut et par en bas; ce tube porte de plus des trous, qui le mettent en communication constante avec la partie de la chaudière occupée par la vapeur. L'ouverture inférieure, qui se termine de manière à faire corps avec les parois de la chaudière, est fermée par un *cône fusible*, que la pression tient fermé, de manière qu'il n'y passe aucune trace de vapeur.

Il est évident que si la pression devient trop forte, et la température trop élevée, ou si quelques parois rougissent parce que l'eau vient à y manquer, ou que des dépôts s'y sont fixés, le cône fond immédiatement. La vapeur de la

chaudière, passant par les trous intérieurs et le tube, s'élance au dehors, et va éteindre le feu, en avertissant par son sifflement le chauffeur trop négligent.

A la partie supérieure de ce tube, est un robinet, dont la clé reçoit, dans une entaille, un petit cône ; lorsque le premier est fondu, on tourne le robinet : le cône de supplément passe dans le tube, et va fermer l'ouverture inférieure, sans que l'on soit obligé de vider la chaudière. Cet appareil, très-ingénieux, n'a pas encore été employé, à notre connaissance. Il garantit en effet contre les principaux dangers d'explosions ; reste à savoir, si l'on réussira ainsi à fermer hermétiquement le passage à la vapeur, par la seule pression de ce cône ; ce qui nous paraît douteux ; et on ne peut pas ainsi avoir deux ou trois fuites constantes de vapeur à une chaudière. L'expérience doit parler.

316. *Composition des rondelles fusibles.* L'alliage métallique dont sont composées ces rondelles, et qui a la propriété de fondre à une température qui varie avec sa composition, mais qui peut être abaissée quand on le veut au-dessous de la chaleur de l'eau bouillante, a été découvert par M. d'Arcet père. On trouvera sa composition chimique dans la note 11.

317. Il ne faut pas cependant croire, que ces rondelles soient une garantie assurée contre tout accident, car elles ne peuvent aucunement prévenir les explosions qui auraient lieu par l'introduction instantanée de l'eau dans une chaudière vide et rougie par le feu, et c'est, comme nous l'avons dit, la cause la plus fréquente des explosions.

Avec les soupapes de sûreté et les rondelles fusibles, le moyen le plus sûr et le plus facile d'éviter les accidents, nous paraît toujours être de surveiller le nettoyage des chaudières et la conduite du fourneau, et de s'assurer que le chauffeur prend toutes les précautions que nous indiquerons en détail dans l'article relatif à la conduite des machines : c'est de lui

défendre expressément de jamais surcharger les soupapes de sûreté, d'exiger qu'il les nettoie régulièrement ; et qu'il observe souvent son manomètre, le guide le plus sûr qu'il puisse avoir pour éviter tout danger et pour assurer à la machine une marche régulière.

MANOMÈTRES.

318. *Construction des manomètres.* On trouvera dans l'appendice placé à la fin de ce manuel, l'exposition de la loi sur laquelle repose la construction du manomètre (note 9.) ; il nous suffira de donner ici le moyen pratique de le graduer à l'aide d'une échelle, et les indications nécessaires pour le construire et l'employer.

Le manomètre sert à indiquer la tension, la force de la vapeur dans la chaudière, et par conséquent sa température. Dans les machines à basse pression, cette tension se mesure par la hauteur de la colonne de mercure que la vapeur peut soutenir ; dans les machines à moyenne et à haute pression, la colonne de mercure nécessaire pour mesurer directement la pression de la chaudière, à 3, 4, 5 et 6 atmosphères, c'est-à-dire de 3 m. à 4 m. 50 de hauteur, est trop grande pour que l'on monte ainsi des appareils faciles à placer ; la pression se mesure donc ordinairement par la compression d'un certain volume d'air, renfermé dans un tube de verre.

319. *Manomètre à basse pression.* Rien de plus simple que la construction des manomètres destinés aux chaudières qui travaillent à basse pression ; ils consistent le plus souvent en un tube de verre recourbé (*Pl. 3, fig. 4*), dont une des extrémités s'ajuste avec du mastic sur un des tuyaux de vapeur, ou sur la chaudière même. On le remplit à moitié de mercure ; quand la vapeur presse dans la branche du tube *a*, le mercure descend dans cette branche et remonte dans l'autre *b*, et la pression

de cette vapeur, est mesurée par la différence de niveau *ab* du mercure dans les deux branches. On trace sur une planchette *P*, placée derrière le tube, une échelle graduée en demi-centimètres, et il faut faire attention que chaque demi-centimètre indique un centimètre de pression, parce que, quand le mercure monte d'un demi-centimètre dans une des branches, il descend d'une égale quantité dans l'autre, de manière que la différence de niveau est alors double. On ne donne à l'échelle de ces manomètres que 0 m. 20 à 0 m. 22 de graduation, parce que c'est la plus haute pression à laquelle travaillent ces machines, et qu'alors la vapeur est assez forte pour soulever de 2 m. 40 à 3 m. la colonne d'eau qui sert à alimenter la chaudière.

Dans beaucoup d'ateliers, on construit ces manomètres en fonte; ils sont moins exposés à se briser (*fig. 8*). Afin de pouvoir lire la marche du mercure dans la fonte, on y ajuste un tube de verre court *v*, et on met dans le tube de fonte *ab* un petit flotteur en bois *d*, dont le haut est muni d'un morceau de cire rouge *e*, pour indiquer facilement sa marche. Ce flotteur monte et descend le long de l'échelle graduée, et la cire rouge indique sur cette échelle la marche du mercure.

320. *Manomètre à haute pression.* Pour construire les manomètres employés sur les chaudières à moyenne et à haute pression, on prend un tube de verre de 8 à 9 millim. de diamètre, et de 30 à 35 centimètres de longueur (*Pl. 3, fig. 5*), fermé à l'une de ses extrémités; plus il sera long, plus il donnera des indications exactes. On le plonge dans un godet de fer *a*, rempli de mercure; ce godet porte dans son épaisseur un petit conduit *b*, communiquant, par bas, au tuyau *c*, qui y amène la vapeur, et dont l'autre extrémité vient aboutir à la surface. On ferme le dessus du godet, au moyen d'un plateau *d* de fonte, tenu par quatre vis, et mastiqué au mastic rouge, en prenant des précautions pour ne pas obstruer le conduit intérieur. On

a eu soin, avant de mettre le plateau en place, d'y fixer solidement le tube de verre *e*, au moyen d'étoupes et de mastic, pour empêcher toute fuite d'air ou de vapeur. On serre les vis, on termine le masticage du tube avec le plateau, et on laisse sécher le tout pendant plusieurs jours avant de s'en servir.

321. *Graduation des manomètres.* Il faut alors graduer le manomètre. Dans les ateliers, on appelle vapeur à 1 atmosphère celle qui peut soulever un poids de 1 k. environ sur un centimètre carré. Or, quand la vapeur a la force de 1 atmosphère, c'est-à-dire, quand l'eau commence à bouillir, elle soulève le volume d'air qui repose sur elle, et entre en ébullition. A ce point, la tension, comme nous l'avons dit, est égale au poids de l'atmosphère. Le mercure du manomètre, étant pressé en dehors par la vapeur, et en dedans par le poids de l'air, au même degré de tension, reste immobile et au même niveau dans le tube que dans le vase de fonte, et c'est ce qu'on nomme le zéro du manomètre. On marque, sur l'échelle, le niveau du mercure par un zéro. Puis, à mesure que la vapeur augmente de force, elle presse sur le mercure et l'air, et comprime ce dernier : lorsqu'elle a atteint une force de 2 k² par centimètre carré, c'est-à-dire, une force de 2 atmosphères, l'air est alors réduit à moitié de son volume, et le mercure monté à la moitié du tube; on marque donc à la moitié de la hauteur du tube 1 atmosphère : c'est la pression de la vapeur en sus du poids de l'air; on verra cependant plus loin, qu'il faudrait, pour que ce résultat fût rigoureux, ajouter à la pression de l'air intérieur, le poids de la colonne de mercure soulevée, que la vapeur soutient ainsi à moitié du tube; mais, en pratique, cette erreur n'est pas grave, à moins que le manomètre ne soit très-long; on peut, au reste, l'éviter en plaçant le tube du manomètre horizontalement, puisque alors le poids de la colonne de mercure est nul. On doit, dans ce cas-là, employer un tube de verre d'un

petit diamètre, pour que la colonne de mercure ne se divise pas.

Quand la vapeur a acquis une force égale à $3k^{\circ}$ par centimètre carré, en sus du poids de l'air, ou une force trois fois plus grande, l'air du tube se trouve réduit au tiers de son volume, et le mercure monté aux deux tiers du tube. On marque à ce niveau 2 atmosphères; on marque de même 3 atmosphères, quand la vapeur a acquis une force de 1 atmosphère de plus, c'est-à-dire, une force quatre fois plus grande, qui réduit l'air au quart de son volume, et qui fait monter le mercure aux trois quarts du tube, etc.

Les divisions se font d'avance sur le tube, dès qu'il est plongé dans le petit vase de mercure, ou sur une planchette *p* à laquelle ce tube est fixé. On a soin de ne régler le manomètre que quand le mercure est exactement au zéro. Alors on divise la longueur du tube en 2 pour 1 atmosphère, en 3 pour 2 atmosphères, en 4 pour 3 atmosphères; on marque la division sur la planchette à laquelle on fixe le tube, à partir du niveau du mercure, et, en ajoutant à chacun de ces chiffres 1 atmosphère pour le poids primitif de l'air, et pour la tension que la vapeur a déjà quand le manomètre marque zéro, on aura, quand l'air sera réduit à la moitié du tube, 2 atmosphères; au tiers 3; au quart 4 atmosphères de pression véritable, quoique en pratique, on n'en compte alors que 1, 2, 3, etc.

Il ne faut pas oublier de mettre une légère goutte d'huile sur le mercure dans le tube, avant de le mastiquer; avec cette précaution, le verre est toujours net, et le mercure n'y attache jamais.

322. Nous donnons ici une table, et une échelle proportionnelle, à l'aide de laquelle on obtient immédiatement la division de tous les manomètres. (*Pl. 3, fig. 10.*) Nous avons divisé la première atmosphère en dixième d'atmosphère, et nous avons donné les températures correspondantes de la vapeur.

Dans l'appendice se trouve la formule qui sert à faire ces divisions (note 12). Il suffit, pour cela, de placer le tube de verre, ou la planchette que l'on veut diviser, sur cette échelle parallèlement à la ligne divisée ab , de sorte que le zéro, ou le bas du tube, corresponde à la ligne de zéro ca , et le haut du tube, à la ligne supérieure de l'échelle cb , et de reporter directement sur la planchette toutes les divisions correspondantes de l'échelle; qui peut servir ainsi à graduer les manomètres de toutes grandeurs : quelque grands qu'ils soient, on peut toujours, en prolongeant les lignes ca et cb , trouver la place et la longueur d'échelle qui leur correspond, parce que ces divisions, prolongées autant que l'on voudra, sont toujours proportionnelles; c'est-à-dire, que la ligne cd coupe également en deux tous les manomètres ab , ef , gh , ik , comme la ligne cm les coupe aux deux tiers, et la ligne cn aux trois quarts de leur hauteur.

323. *Robinet nécessaire.* Il est nécessaire de placer un petit robinet r (fig. 5), au-dessous du manomètre. Si, par accident, on venait à briser le tube de verre d'un manomètre, privé de robinet, il deviendrait difficile de maîtriser la vapeur, qui s'échapperait par le tuyau; il faudrait peut-être arrêter la machine, et laisser échapper dans l'air toute la vapeur de la chaudière, au lieu qu'au moyen d'un robinet, que l'on ferme au besoin, on peut raccommoder immédiatement le manomètre, sans aucune perte de vapeur, ou de travail de la machine.

Il ne faut pas laisser tomber de mercure dans le tuyau de cuivre c , qui établit la communication de la chaudière au manomètre, parce qu'il serait promptement percé. On doit aussi donner les plus grands soins au masticage du tube de verre avec le vase de fonte, et le laisser sécher plusieurs jours, à moins d'urgence, afin que l'air contenu dans le tuyau de cuivre ne puisse pas s'échapper; car, alors, la vapeur arriverait sur le mercure, et pourrait, par une forte pression, passer

jusque dans le tube, dont elle troublerait les résultats, en augmentant le volume de l'air renfermé dans le manomètre. Quand le masticage est bien fait, l'air primitivement renfermé dans le tuyau qui communique à la chaudière, ne pouvant s'échapper, résiste à la vapeur, et celle-ci ne peut s'introduire dans ce tuyau qui reste constamment froid.

324. Ce genre de manomètre est, au reste, sujet à quelques erreurs. Si, après avoir été réglé dans de l'air froid, il se trouve placé dans la chambre d'une machine dont la température s'élève, en été, à 40 ou 45°, l'air renfermé dans le tube se dilate considérablement, et résiste à la pression de la vapeur; et quand l'air est réduit à la moitié de son volume, cette pression est en réalité plus forte qu'elle ne l'est en apparence, puisque le volume de l'air qu'elle comprime est dilaté par la chaleur; mais cette erreur ne se présente que le premier jour de travail. Dès que l'on a cessé le feu, et arrêté la machine une seule fois, et qu'il n'y a plus de vapeur dans la chaudière, la température de la chambre restant à peu près la même, l'excès de l'air dilaté s'échappe par le bas du tube à travers le mercure, avec d'autant plus de facilité qu'il se produit un vide dans la chaudière, à mesure qu'elle se refroidit, et le manomètre se trouve alors réglé exactement à la température de la salle, tant que cette température ne change pas; ce qui a lieu, à peu de différence près, pendant le temps du travail.

325. Quand on arrête plusieurs jours de suite la machine, en hiver, il arrive quelquefois que le froid condense l'air qui était précédemment très-dilaté, et fait monter le mercure dans le tube; mais, ce résultat est indifférent, et le manomètre est toujours bon, lorsqu'à la température de la salle échauffée, il marque zéro, avant que la vapeur ne se développe, ce dont il est prudent de s'assurer de temps à autre.

326. On voit aussi quelquefois la vapeur passer dans le

tube : en s'ajoutant au ressort de l'air, elle le dilate, produit dans le manomètre le même effet que l'élévation de température de la salle, et se corrige également elle-même.

Cette augmentation de volume sert aussi à compenser une autre cause d'erreur qui se manifeste après quelque temps de travail : c'est l'absorption d'une partie de l'air fortement comprimé, par l'huile placée sur le mercure, ou, à défaut d'huile, par le mercure lui-même ; mais nous le répétons, le manomètre fournit toujours des indications suffisamment exactes, c'est-à-dire, comparatives, quand le mercure est au zéro de l'échelle, au moment où la vapeur commence à se développer, ce qui arrive toujours dans un travail régulier.

327. *Manomètre à air libre.* Les mémoires de la société de Mulhouse, donnent la description d'un manomètre destiné aux chaudières à moyenne pression, qui est exempt de tous les défauts indiqués ici, n'est sujet à aucun dérangement ni accident, et peut, en même temps, servir de soupape de sûreté, soit contre l'excès de pression de la vapeur, soit pour empêcher le vide de se produire dans les chaudières par leur refroidissement : ce qui n'est pas sans danger pour celles de tôle ou de cuivre qui travaillent à basse pression.

Ce manomètre est entièrement construit en fer. (*Pl. 3, fig. 7.*) Le mode d'action de la vapeur sur le mercure, est le même que dans le manomètre à basse pression, dont nous avons déjà donné la description ; c'est-à-dire que la pression de la vapeur y est mesurée par la hauteur de la colonne de mercure soulevée. La disposition de l'appareil est analogue à celle des manomètres à haute pression, si ce n'est que la boîte de fonte *b* est beaucoup plus considérable, et présente une plus grande surface de mercure. Le tube de verre y est avantageusement remplacé par des tuyaux de fer *tt*, vissés ou soudés ensemble, sur une hauteur suffisante : cette hauteur doit être égale à autant de fois 0 m. 76, que l'on veut obtenir d'atmosphères de

pression : parce que, dans ce manomètre, ce n'est pas la compression de l'air qui indique la tension de la vapeur, mais la hauteur de la colonne de mercure que cette vapeur soulève. Le sommet des tuyaux de fer est ouvert, et communique librement avec l'air ; or, on sait que le poids de l'air, que nous avons vu être de 1 k. sur 1 centimètre carré, est égal au poids d'une colonne de mercure de 0 m. 76 de hauteur : de sorte que la vapeur qui soutient, dans le manomètre dont nous parlons, le mercure à 0 m. 76 centimètres, est de la vapeur à 1 atmosphère ; celle qui le soutient à 1 m. 52, est de la vapeur à 2 atmosphères, etc., etc.

Dans les machines de Woolf, où la tension de la vapeur ne s'élève pas, au maximum, au-delà de 4 atmosphères, au-dessus de la pression ordinaire de l'air, les tuyaux devront avoir 3 m. environ de longueur ; la boîte devra contenir une quantité de mercure suffisante pour remplir complètement le tube, et n'en laisser le pied à sec que quand la pression se sera élevée au maximum pour lequel on a réglé le manomètre ; parce qu'alors la vapeur se fera passage à travers le mercure, et s'échappera dans l'air.

Un petit flotteur en fer *f* est attaché à une ficelle, et équilibré par un poids *p* qui, en courant le long d'une échelle graduée, indique les variations de la tension de la vapeur, par les hauteurs que prend successivement la colonne de mercure. Cette échelle sera tracée en marquant zéro au point où se trouve le contrepoids, quand il n'y a pas de vapeur dans la chaudière ; et comptant ensuite 76 centimètres de course par atmosphère : toutes les divisions seront égales, de sorte que 152 centimètres donneront 2 atmosphères ; 2 m. 28, 3 atmosphères, toujours, comme nous l'avons dit, en sus de la pression ordinaire de l'air.

328. Bien des manufacturiers, ont adapté au flotteur de ces manomètres une détente qui, quand la pression dépasse un

niveau déterminé, met en liberté une sonnerie à ressort, et donne ainsi un signal utile.

M. Hoyau a combiné les dispositions d'un manomètre à haute pression, solide, fort bien entendu, et surtout facile à réparer en cas d'accident. Il n'a pas oublié le robinet nécessaire au bas de ces appareils.

BENIFLARDS,

329. Il faut ici dire un mot des moyens employés pour prévenir les accidents qui pourraient résulter du vide produit dans les chaudières de tôle et surtout de cuivre, comme aussi de tous les tuyaux de chauffage par la vapeur, quand ils se refroidissent. Le tuyau *tt* (*pl. 2, fig. 3*) remplit efficacement cet objet sur la chaudière à basse pression, et sert en même temps de soupape de sûreté : car, lorsque la vapeur devient assez forte pour soulever une colonne d'eau égale à la longueur de ce tuyau, l'eau bouillante s'échappe par son orifice supérieur, et comme il ne plonge que de quelques centimètres dans l'eau, la chaudière se vide jusqu'à ce niveau, et l'excès de vapeur s'échappe ensuite avec facilité, jusqu'à ce qu'elle redevienne incapable de soutenir la colonne d'eau renfermée dans le tuyau. Quand, au contraire, la chaudière se refroidit, et que le vide s'y produit, l'air entre par le tuyau dans la chaudière, et prévient tout accident. On emploie aussi à cet usage des soupapes qui s'ouvrent du dehors au dedans (*voyez pl. 3, fig. 3*), ou toute autre disposition analogue de soupape rentrante. On les nomme alors *reniflards*. Celles-ci sont les seules à employer à moyenne ou à haute pression,

FLOTTEUR.

330. L'usage du flotteur est d'indiquer constamment le

niveau de l'eau dans la chaudière. Pour remplir exactement ces fonctions (*pl. 1, fig. 1*), il faut que les mouvements du fil métallique z qui soutient la pierre x , soient toujours libres dans la boîte à étoupes b , à travers laquelle il glisse. Ce fil est ordinairement en cuivre jaune; mais il vaut mieux employer un fil d'acier de 3 millimètres de diamètre, bien poli et sans pailles, parce que la force de l'acier permet de donner moins de grosseur au fil, ce qui diminue le frottement qu'il éprouve dans la boîte à étoupes, et facilite par conséquent ses mouvements. Il faut seulement le nettoyer souvent pour éviter l'action puissante de la vapeur qui le rouillerait promptement. Cette boîte ne doit être que peu serrée, car le flotteur ne pourrait plus suivre le niveau de l'eau, et l'on serait exposé à ne pas s'apercevoir que la chaudière se remplit, ou, ce qui est bien plus dangereux, qu'elle se vide complètement.

331. Quelques constructeurs mettent un arrêt sur ce fil, pour que le flotteur ne descende pas trop bas. Nous ne voyons là aucun avantage, mais, au contraire, l'inconvénient de ne plus marquer le niveau et de laisser le chauffeur dans l'incertitude sur le point où il en est, et s'il alimente bien ou mal, dans le cas où il aurait laissé descendre l'eau au-dessous du niveau réglé; puis, la limite de course du flotteur étant très-petite, un chauffeur peu soigneux est exposé à s'y tromper facilement.

Il faut graisser souvent la boîte à étoupes, et s'assurer de temps en temps que le flotteur suit avec facilité tous les mouvements de l'eau. L'étoupe de cette boîte doit être entièrement renouvelée, au moins une fois par mois : elle se remplit de matières terreuses entraînées par la vapeur et le fil métallique, et ne peut plus alors retenir la première, sans rendre difficiles les mouvements du flotteur.

L'étoupe graissée dont on garnit cette boîte, ne doit pas être employée en longues tresses, comme celle qui remplit les boîtes

du cylindre, parce qu'elle s'entortillerait autour du fil d'acier, et en gênerait les mouvements. Il faut l'employer en petites boules séparées, que l'on serre les unes sur les autres, en les imprégnant de suif.

332. Quelquefois le fil métallique qui soutient la pierre du flotteur vient à se briser, accident assez fréquent lorsqu'on emploie un fil de laiton sans le recuire suffisamment avant de le tordre (1). Lors donc que ce fil vient à casser, ou que la pierre se brise, le contrepoids du flotteur, n'étant plus en équilibre, entraîne et renverse son balancier; il faut immédiatement laisser tomber le feu, et en même temps alimenter la chaudière aussi longtemps que la machine peut marcher, en consommant le reste de la vapeur produite. Cette alimentation refroidit à la fois l'eau et la chaudière, et l'on n'a pas alors à craindre de laisser celle-ci se vider.

Dès que la vapeur est entièrement épuisée, on enlève les poids qui chargent les soupapes, on les laisse ouvertes, afin d'être sûr qu'il ne reste plus de vapeur dans la chaudière; on dévisse enfin le bouchon du trou d'homme, en prenant des précautions pour se garantir de la bouffée de vapeur qui peut sortir de la chaudière. Si le constructeur a eu l'attention de *placer le flotteur près du trou d'homme*, il est facile d'attacher la pierre sans vider la chaudière, et sans perdre de temps. A cet effet, on prend un fil de cuivre ou d'acier plus long que celui dont on a besoin, et bien recuit; on le passe par la boîte du flotteur, dont on a enlevé l'étope, et, le ramenant, à l'aide d'un crochet, jusqu'à l'entrée du trou d'homme, on y fixe la pierre que l'on a retirée facilement du fond de l'eau, en le tordant assez pour qu'il ne se détache pas, sans cependant

(1) Nous rappellerons ici que le fil de laiton se recuit par un procédé contraire à celui que l'on emploie pour l'acier, c'est-à-dire en le refroidissant subitement dans l'eau; lorsqu'on le laisse refroidir lentement, il se trempe et ne peut plus plier sans rompre.

risquer de le rompre ; on retire alors l'extrémité du fil, qui sort, à l'extérieur, par la boîte à étoupes, et on le fixe au balancier, à une hauteur telle que, la chaudière étant remplie un peu au-dessous des deux tiers de sa hauteur, le balancier du flotteur soit horizontal. Dans les machines de petite force, on remplit un peu moins les chaudières, parce que le bouillonnement porterait trop facilement l'eau dans les cylindres.

On a cru trouver quelques inconvénients à placer le flotteur sur le devant de la chaudière, auprès de la tubulure des bouilleurs, parce que les mouvements de l'eau l'exposent à être fortement secoué, et même à briser son fil métallique ; mais ces agitations ne se manifestent dans les chaudières à moyenne et à haute pression qu'au premier moment de développement de la vapeur. Quand celle-ci monte au-dessus d'une atmosphère de pression, elle se développe *sans aucun bouillonnement* à la surface de l'eau.

333. *Soulèvement de l'eau du générateur (the priming)*. Les ingénieurs anglais attachent une haute importance à ce soulèvement de l'eau de la chaudière, qui en porte une partie dans le cylindre. Sur les steamers et les locomotives, exposés à de continuelles et irrégulières oscillations, il doit être fréquent ; mais, avec des fourneaux et des chaudières d'une puissance supérieure à celle de la machine, de tuyaux d'un diamètre suffisant, nous n'avons eu, dans notre pratique, que bien peu d'occasions de le remarquer, et jamais, jusqu'à présent, nous n'avons trouvé un haut intérêt à le combattre par des dispositions spéciales dans les machines fixes.

334. Lorsque le flotteur se trouve placé à l'extrémité de la chaudière, il faut la vider en partie, y verser à plusieurs reprises et en faire écouler de l'eau froide, afin d'en hâter le refroidissement, avant de la mettre entièrement à sec, et d'y laisser descendre un ouvrier pour rattacher la pierre. On sentira facilement combien il est important de faire cette opé-

ration avec le plus grand soin, pour éviter un accident du même genre, et le chômage, qui en est la suite.

Dans les chaudières à basse pression, on n'emploie pas ordinairement des flotteurs en pierre; on se sert souvent d'un tuyau de 2 m. 50 à 3 m. 11, qui plonge de 12 à 15 centimètres dans l'eau de la chaudière (*pl. 2, fig. 3*) : quand le niveau de l'eau vient à baisser jusqu'à l'ouverture inférieure du tube, la vapeur qui se dégage avec bruit par le haut, et qui quelquefois est dirigée de manière à se projeter sur le chauffeur même, suffit pour l'avertir d'alimenter la chaudière. Cette dernière disposition doit être proscrite, comme pouvant avoir des dangers sérieux pour le chauffeur, que le sifflement de la vapeur avertit suffisamment.

335. *Robinet de niveau.* Quelquefois on fixe à la chaudière deux petits robinets, dont l'un se trouve placé à 5 centimètres au-dessous du niveau de l'eau, et l'autre, à 5 centimètres au-dessus : on les ouvre de temps en temps l'un et l'autre, et selon qu'il sort de la vapeur ou de l'eau par les deux ou par l'un des deux, on juge aisément de l'état de la chaudière. Enfin, dans les chaudières à basse pression, on adapte aussi à ces deux robinets, ou à de petits tuyaux recourbés, fixés aux parois de la chaudière, l'un au-dessus de l'autre (*pl. 3, fig. 11*), un tube de verre mastiqué, dans lequel l'eau de la chaudière vient prendre son niveau et servir directement d'indicateur. C'est le procédé le plus sûr et le plus généralement employé. On a soin de réserver dans ces petits appareils, des vis placées en face des diverses ouvertures, soit du tube de verre, soit des tubes de cuivre qui communiquent à la chaudière, afin de pouvoir au besoin les nettoyer ou les dégorgier, avec une tringle de fer. En effet, l'un de ces tuyaux au moins, passant à travers les carneaux, et supportant une très-forte chaleur, donne lieu à l'intérieur à une vaporisation d'eau qui laisse des dépôts et obstrue le passage, de sorte que,

si on ne le nêtoyait pas, l'appareil n'indiquerait plus les variations de niveau de l'eau dans la chaudière. On reconnaît facilement l'existence de cet engorgement, quand, en fermant, puis ouvrant après une demi-heure le robinet infêrieur, la colonne d'eau reste stationnaire.

On a soin d'envelopper le tuyau d'une double feuille de tôle, remplie de terre à four, à son passage dans le carneau, pour le prêserver en partie de l'action de l'air chaud.

M. Hoyau a aussi donnê de bonnes dispositions pour cet appareil; il y a ajoutê une petite soupape sphêrique qui, en cas de rupture du tube, arrête l'êcoulement de l'eau.

DEUXIÈME PARTIE.

ACCIDENTS QUI ARRIVENT A CHACUNE DES PIÈCES DES MACHINES;

LEURS SYMPTÔMES ET LEURS REMÈDES.

POMPE ALIMENTAIRE.

336. *Alimentation.* Après avoir indiqué, comme nous l'avons fait dans la première partie, les meilleures dispositions à donner aux chaudières, et aux fourneaux qui produisent la vapeur, nous parlerons des pièces qui composent la machine proprement dite, et nous commencerons par celles qui fournissent de l'eau aux chaudières à mesure qu'elles se vident; et suivant la marche de la vapeur, nous nous occuperons des pièces dans lesquelles elle développe son action.

L'alimentation des chaudières est un des objets qui exigent l'attention et la surveillance la plus soutenue, parce que, d'un côté, cette alimentation doit être régulière, soit pour éviter

que la chaudière reste à sec et vienne à brûler ou à faire explosion, accidents qui, pour la plupart, sont dus à une *mauvaise alimentation*, soit pour ne pas diminuer tout à coup la pression de la vapeur, par l'injection subite d'une trop grande quantité d'eau froide; et que d'un autre côté, les appareils employés à cette alimentation, sont sujets à de fréquents dérangements. Pour obtenir une alimentation continue, on emploie des appareils qui entretiennent dans la chaudière un niveau constant, en y introduisant autant d'eau que la machine consomme de vapeur.

337. *Alimentation à basse pression.* Dans les machines à basse pression et dans tous les chauffages à vapeur, cet appareil consiste en une soupape conique ordinaire, placée au fond d'un petit réservoir, et attachée par un fil de cuivre à l'extrémité d'un balancier qui soutient, de l'autre côté, une pierre (*Pl. 2, fig. 6*) destinée à servir de flotteur à la chaudière. Cette soupape ferme le tuyau qui conduit l'eau du réservoir au fond de la chaudière, de sorte que, quand le flotteur vient à baisser avec le niveau de l'eau, il soulève la soupape, et ouvre passage à l'eau du réservoir qui descend dans la chaudière par le tuyau d'alimentation. On place le réservoir à 2 m. 50 ou 3 m. au dessus du générateur, hauteur assez grande pour que le poids de la colonne d'eau puisse vaincre la tension à laquelle on doit ordinairement travailler.

338. *Alimentation continue à haute pression.* Dans les machines à moyenne et à haute pression, où la chaudière est alimentée par une pompe foulante, l'appareil d'alimentation constante est le plus souvent un petit piston (*Pl. 5, fig. 6*) attaché au balancier du flotteur, et qui, baissant avec lui, ouvre le tuyau d'aspiration *c* de la pompe alimentaire, et permet à l'eau d'entrer dans la pompe. A mesure que la chaudière se remplit, le flotteur remonte avec le piston qui ferme le tuyau d'aspiration. Ce piston règle ainsi la marche de la pompe ali-

mentaire, au moyen d'une suite de tuyaux qui y amènent l'eau du condenseur, et la reconduisent ainsi sous les soupapes de la pompe; mais ces tuyaux sont toujours si longs, et les cylindres qui glissent ainsi à frottement dans une douille, sont si exposés à être arrêtés par la rouille ou par les ordures; que cet appareil se déränge souvent; nous croyons préférable de le supprimer entièrement, et de régler l'alimentation de la chaudière d'après les indications du flotteur, en ouvrant et fermant à la main le robinet du tuyau d'aspiration.

339. *Inconvénients de cet appareil à niveau constant.* En premier lieu, l'eau étant obligée de faire trois fois le chemin de la machine à la chaudière, dans des tuyaux d'un petit diamètre, qui poisent presque toujours dans le condenseur une eau chargée de graisse, il en résulte que les engorgements sont fréquents. Pour les enlever, il faut démonter ces longs tuyaux, ce qui ne s'opère jamais sans déchirer les soudures en quelques endroits, et l'air aspiré ainsi par la pompe, arrête immédiatement l'alimentation. Il faudrait, alors, employer pour cet objet des tuyaux de plomb sans soudure, qui se prêtent facilement aux démontages et aux courbures.

En second lieu, par suite d'un défaut de construction qui place ordinairement cet appareil à la même extrémité du balancier que le fil de cuivre *d* du flotteur, lorsque la pompe alimentaire se déränge et ne fonctionne plus, le petit piston *a* touche au fond de son cylindre *e*, empêche le flotteur de baisser, et n'indique plus au chauffeur le dérangement de la pompe et le dangereux épuisement de la chaudière. Quand l'alimentation est réglée par un robinet que le chauffeur manœuvre à volonté, l'on ne peut pas être induit en erreur par l'immobilité du flotteur.

Il vaut mieux placer ce petit piston à l'autre extrémité du balancier *f*; alors, si la chaudière se vide, le flotteur continue à descendre, et le piston finit par s'échapper du cylindre.

En définitive, cet appareil demande aux chauffeurs presque autant de soins et de surveillance que lorsqu'ils sont obligés de régler eux-mêmes la marche de l'alimentation; il ne leur présente pas des moyens aussi sûrs de se guider, et il encourage la plus dangereuse négligence, en leur inspirant une fausse confiance dans la régularité de l'alimentation.

340. *Régularité nécessaire dans l'alimentation.* Nous conseillons donc de supprimer ces appareils; et d'abandonner au chauffeur seul le soin d'ouvrir et de fermer le tuyau d'aspiration de la pompe alimentaire, en se réglant sur le niveau du flotteur.

Tous les procédés essayés pour remplir ce but, même celui que M. Roux a proposé à la Société d'encouragement, ont le danger de priver le générateur de la surveillance continue du chauffeur, sans le garantir contre les chances d'accidents.

Pour éviter dans la chaudière un trop grand refroidissement qui peut diminuer tout d'un coup la pression de la vapeur et rendre irrégulière la marche de la machine, le chauffeur doit alimenter peu et souvent, sans attendre, pour ouvrir le robinet du tuyau d'aspiration, que le flotteur soit entièrement baissé. Les variations de niveau du flotteur ne doivent pas aller au-delà d'un décimètre environ; nous les avons indiquées en *gh*, par des lignes ponctuées. Les chauffeurs peuvent aussi régler, par tâtonnement, le robinet d'aspiration *a* (fig. 2), de manière à entretenir constamment l'eau de la chaudière au même niveau; mais cependant ils ne doivent jamais négliger d'examiner souvent le flotteur, et de le faire marcher à la main, afin de s'assurer que la pompe alimentaire fonctionne bien.

341. *Pompe alimentaire de Séguiér.* Le mode de construction des pompes, a la plus grande influence sur la régularité de l'alimentation; malheureusement la plupart de celles que l'on emploie ont des défauts graves. M. Séguiér s'est beaucoup occupé de cette question; il a signalé leurs principaux défauts:

Construction mal soignée et d'une exécution difficile ;

Clapets de mauvaises dimensions et mal placés ;

Vérification et nettoyage longs et incomplets ;

Rôdage impossible à bien faire ;

Forme qui permet souvent à l'air de s'y accumuler et d'en arrêter le jeu.

Il a donné, en conséquence, une disposition de pompe, où tous ces défauts sont évités, où la visite et le nettoyage des clapets se font en un instant, où leur rôdage peut être parfait ; nous n'en connaissons pas une aussi bonne, et nous en donnons le tracé. (*Pl. 10, fig. 8, 9 et 10.*)

342. Dérangements de la pompe alimentaire. Plusieurs accidents gênent le travail des pompes alimentaires : la graisse du condenseur, les étoupes ou autres ordures peuvent s'arrêter dans les soupapes *e* et *d*, quoique l'on mette souvent à l'entrée du tuyau d'aspiration *c* (*Pl. 5, fig. 2 et 4*) une pomme d'arrosoir, et qu'on ait soin de la nettoyer, pour n'en pas laisser engorger les trous ; les soupapes se soulèvent quelquefois, et ne retombent pas à leur place ; elles viennent à s'user, ne ferment plus, et demandent à être rôdées ; d'autres fois le tuyau d'aspiration *c* est engorgé ou rompu. Quelle que soit la cause du dérangement, on s'en aperçoit facilement, lorsque le flotteur continue à baisser, quoique le robinet d'aspiration *a* soit ouvert : ou lorsque l'on n'entend plus le bruit des soupapes, et que le tuyau d'injection *f*, qui est toujours froid, c'est-à-dire à la température de l'eau du condenseur, quand la pompe fonctionne bien, devient brûlant, parce que l'eau de la chaudière, qui n'est plus refoulée, l'échauffe très-fortement ; c'est l'un des signes les plus sûrs à consulter.

Lorsque le tuyau de refoulement a plus de 0 m. 027 de diamètre et qu'il n'a pas de contre-pentes, ce qui du reste est plus favorable au bon service, il s'y produit quelquefois de doubles courants pendant que la pompe ne fonctionne pas, et

il s'échauffe sans qu'il y ait pour cela dérangement dans la pompe. Ce phénomène n'a aucun inconvénient. En donnant une contre-pente à une partie de ce tuyau, il ne se présente plus.

343. *Précautions à prendre quand le flotteur est trop bas pour marquer.* Si l'on ne s'apercevait pas promptement de cet accident, il pourrait arriver que la pierre du flotteur ne fût plus soutenue par l'eau, mais que l'attache de son fil de cuivre reposât sur le bord de la boîte à étoupes. Dans cette position, il peut encore rester 15 à 18 centimètres d'eau dans la chaudière, ce qui suffirait pour marcher sans charge et alimenter immédiatement; la chaudière aussi pourrait être entièrement vide. Or, il est très-important de savoir à quoi s'en tenir sur ce point; parce que, dans le dernier cas, il y aurait le plus grand danger à mettre la machine en mouvement, et à alimenter la chaudière que le feu pourrait avoir déjà fait rougir, d'où résulterait probablement une explosion, comme nous l'avons dit (303). Voici le procédé à suivre pour s'assurer de l'état de la chaudière: il faut, après avoir fermé le robinet d'injection *f* et enlevé ensuite le chapeau *k*, ouvrir avec précaution le même robinet d'injection *f*. Comme le tuyau d'injection descend jusqu'à environ 1 décimètre du fond de la chaudière, l'eau, s'il en reste encore, s'élance par le robinet au moment où on l'ouvre, et elle est pleine de dépôts terreux, faciles à reconnaître. Si, au contraire, il ne restait plus d'eau, il ne sortirait, par le robinet, que de la vapeur. Cet essai est très-délicat par le danger d'être brûlé en ouvrant le robinet, ou de se tromper en jugeant ainsi de l'état de l'eau dans la chaudière.

Dans tous les cas, la première chose à faire, selon nous, est d'arrêter la machine, bien que l'on pût, à la rigueur, s'en dispenser pour nettoyer les soupapes, en fermant d'abord le robinet *a* du tuyau d'aspiration, et seulement ensuite celui *f* du tuyau d'injection.

344. Des robinets d'injection et d'aspiration. Nous ferons particulièrement remarquer que, dans aucun cas, on ne doit fermer le robinet *f* du tuyau d'injection quand la machine marche, avant d'avoir fermé complètement celui *a* du tuyau d'aspiration, et même avant d'avoir laissé faire quatre ou cinq tours à la machine; après qu'il est fermé, pour que toute l'eau soit chassée du corps de pompe; car, quand le piston descend, l'eau aspirée par la pompe, ne pouvant plus s'échapper par le tuyau d'injection s'il était fermé, briserait à l'instant la tige *g* de la pompe, à moins que le chapeau *h*, qui couvre les soupapes, ne cédât à ce grand effort, et ne livrât passage à l'eau comprimée. Pour prévenir cet accident quelques constructeurs tiennent ce chapeau *h* fermé par un levier chargé d'un poids, qui sert ainsi de soupape de sûreté. On est surtout exposé à cet accident quand on permet aux chauffeurs de nettoyer les soupapes de la pompe pendant qu'elle marche, parce qu'il est difficile qu'ils n'oublient pas quelquefois d'ouvrir et de fermer à propos le robinet d'injection.

Nous croyons, au reste, dangereux de laisser faire cette opération, en marchant, à des chauffeurs qui ne seraient pas adroits et prudents; il vaudrait mieux arrêter un moment la machine.

Ainsi, le principal usage du robinet d'injection, est d'empêcher la vapeur dont la chaudière est remplie, d'arriver dans la pompe alimentaire, quand on veut la nettoyer: on en sentira facilement l'importance. Quant au robinet d'aspiration, le chauffeur l'ouvre et le ferme sans inconvénient, pendant le travail de la machine.

345. Nettoyage des soupapes. Pour régler l'alimentation de la chaudière, pour nettoyer les soupapes, et pour faire toute autre réparation à la pompe alimentaire, le chauffeur doit toujours arrêter la machine, puis fermer parfaitement le robinet d'injection. Celui-ci doit être ajusté et rodé avec beau-

coup de soin, afin que l'eau bouillante de la chaudière, poussée par toute la force de la vapeur, ne vienne pas s'épancher avec violence dans le corps des soupapes, au moment où l'on desserre la vis de pression qui en retient le chapeau : et lors même que le robinet d'injection serait bien fermé, on ne devrait enlever ce chapeau qu'avec précaution, pour éviter toute brûlure. En examinant les soupapes de la pompe alimentaire lorsqu'elle ne fonctionne plus, on les trouvera presque toujours salies par des étoupes, du mastic, de la graisse, de la terre, ou d'autres ordures que la pompe a puisées dans le condenseur; un simple nettoyage suffit alors.

346. *Engorgement du tuyau d'aspiration.* Lorsque le tuyau d'aspiration est engorgé, on s'en assure facilement en portant la main dans le condenseur à l'endroit *c* (fig. 4); où ce tuyau vient y puiser l'eau; on n'y sent plus la forte aspiration qui a lieu quand la pompe fonctionne rondement, et l'eau que l'on versera alors dans le tuyau d'aspiration, après avoir enlevé les soupapes, ne pourra plus s'écouler. Si l'on ne parvient pas à le nettoyer en y passant un fil de fer, il faut nécessairement le démonter.

347. *De l'usure des soupapes.* On s'apercevra également à la main, si la soupape d'aspiration, inégalement usée, ne ferme plus, ou si, comme on le voit quelquefois, elle reste levée : car on sentira alors à chaque coup de piston l'eau aspirée par la pompe, puis refoulée dans le condenseur. Cette usure se corrige facilement, en rodant la soupape à sec, jusqu'à ce qu'elle ne laisse plus échapper l'eau dont on la couvre.

Quelquefois encore, quand la pression s'élève à 2 ou 3 atmosphères, l'eau de la chaudière remonte par le tuyau d'injection *f*, traverse la soupape supérieure *d*, et entre sous le piston *l* de la pompe, chaque fois que le vide s'y produit. Cette pompe s'échauffe très-fortement, et la vapeur sort de la boîte à étoupes *m*, avec une portion de l'eau de la chau-

dière pleine de matières terreuses. On peut être alors certain que la soupape supérieure ne ferme plus exactement le passage, et que l'eau de la chaudière, poussée par toute la force de la vapeur, est aspirée par la pompe alimentaire de préférence à l'eau du condenseur, qui ne supporte que la pression de l'air.

On s'en assure en couvrant d'eau la soupape *d*. Si elle ne joint pas exactement, qu'elle soit usée, ou qu'il existe un défaut dans la boîte de cuivre, l'eau s'écoule immédiatement. On la rôte à l'émeri fin jusqu'à ce qu'elle tienne l'eau.

348. *Emploi de l'eau du condenseur.* La plus grande cause d'engorgement des clapets dans les pompes alimentaires, est l'emploi de l'eau chaude provenant du condenseur : cette eau toujours grasse, salit toujours les clapets et les générateurs. L'alimentation est beaucoup plus sûre et plus régulière avec de l'eau prise ailleurs que dans le condenseur ; c'est ce que font aujourd'hui presque tous les constructeurs. Nous avons déjà donné les moyens de la chauffer à 80 ou 90° avant son introduction dans le générateur (282).

349. *Des chocs que donne la pompe alimentaire.* Quelquefois aussi un choc se fait entendre dans la pompe, ou dans le tuyau d'injection, à chaque coup de piston, lorsque le robinet d'aspiration *a* est fermé ; il cesse dès qu'on vient à l'ouvrir. En voici selon nous la cause la plus probable : quand le robinet ferme parfaitement, un vide complet se produit dans le corps de pompe ; et le piston, en descendant sur l'eau sans que l'air soit interposé, donne lieu à un choc assez fort : en effet, que l'on desserre légèrement l'écrou du robinet *a*, pour y laisser entrer un peu d'air, la secousse cesse. Ce choc, qui n'a aucun autre inconvénient que celui d'ébranler la pompe, disparaît ordinairement au bout de quelques moments, sans doute parce que le robinet se desserre et que l'air se fraie un passage jusque dans le corps de pompe. Il faut toutefois prendre garde de confondre cette secousse avec celle qui peut

se produire, lorsqu'en montant une machine, le piston descend trop bas, et touche au fond du corps de la pompe alimentaire, d'où pourrait résulter quelque rupture.

350. *De l'air aspiré par la pompe alimentaire.* On voit aussi l'air pénétrer dans la pompe, soit par les soudures brisées du tuyau d'aspiration *c*, soit par la boîte à étoupes *m*, et cet air est souvent assez abondant pour empêcher la pompe de fonctionner ; il est facile de s'en assurer en promenant la flamme d'une lampe autour du tuyau, pendant que la pompe marche, jusqu'à ce que cette flamme soit asoirée par la fente du tuyau ; c'est une soudure à faire, pour la boîte à étoupes, on la regarnit.

351. *Du diamètre des tuyaux.* Pour qu'une pompe alimentaire fonctionne à satisfaction, ses tuyaux ne doivent pas avoir un diamètre trop petit, surtout si elle se trouve éloignée du réservoir où elle puise, et de la chaudière, parce qu'alors l'eau, obligée de prendre une vitesse très-grande dans de très-petits tuyaux, dépense beaucoup de force en frottements inutiles, et n'a plus le temps de remplir le corps de pompe à chaque coup de piston : ce qui produit un choc assez fort, et capable de déranger la pompe. Pour une machine de 10 à 16 chevaux ; lorsque les tuyaux ont une longueur de 9 à 10 mètres, il faut leur donner 30 millimètres : et jamais moins de 27, pour des machines plus faibles. On doit aussi éviter dans les tuyaux les coudes nombreux qui gênent le mouvement de l'eau.

352. *De la boîte à étoupes.* Si l'eau venait à sortir par la boîte à étoupes, il faudrait en resserrer les écrous, et si cela ne suffisait pas, la regarnir, opération pour laquelle il faut arrêter la machine :

Quelquefois aussi la rondelle de cuivre *n*, placée au fond de la boîte à étoupes, est usée, et laisse échapper l'étoupe, qui passe par l'intérieur de la pompe, jusque dans les soupapes et les obstrue. On y remédie facilement en plaçant une forte

rondelle de cuir au fond de cette boîte, immédiatement sur celle de cuivre, et en mettant au fond de la boîte une forte tresse de chanvre.

353. Accumulation de l'air dans les tuyaux. Il arrive souvent aussi qu'après quelques jours d'arrêt de la machine, et au moment de sa mise en marche, la pompe alimentaire refuse de fonctionner ; c'est qu'alors il s'est amassé de l'air dans le tuyau d'aspiration et le corps de pompe. On desserre le chapeau du porte-clapet, on soulève le clapet supérieur, on verse de l'eau dans le corps de pompe, et, ouvrant le robinet d'aspiration, on fait marcher quelques instants la pompe ; l'air contenu dans le tuyau d'aspiration s'échappe, l'eau y arrive. On arrête alors et on serre le chapeau avec la vis de pression.

354. Appareils d'alimentation sans moteur. Monte-jus des sucreries. Les appareils d'alimentation dont nous venons de parler, sont très-bons lorsque l'on dispose d'une puissance mécanique pour les mouvoir ; mais dans tous les chauffages à vapeur, dans les teintureries, dans beaucoup d'industries, on emploie des générateurs qu'il faut alimenter sans moteur, et cependant avec pression. Quelquefois on y applique la petite machine à vapeur conduisant une pompe alimentaire, dont nous avons parlé (279).

Mais l'appareil le plus souvent employé est un cylindre de tôle placé au-dessus des générateurs, et ayant en capacité environ un sixième de la chaudière. A ce cylindre sont ajustés :

1° Un tuyau de cuivre *a* qui y amène la vapeur de la chaudière ; (Pl. 3, fig. 3.)

2° Un tuyau semblable *b* placé au bas, et qui sert à conduire dans la chaudière, et jusqu'au fond de celle-ci, l'eau dudit cylindre ;

3° Un troisième tuyau *c* qui va chercher au besoin, 4 ou 5 mètres plus bas, l'eau destinée à l'alimentation, dans une bache *d* ou dans un puisard.

Chacun de ces tuyaux porte un robinet.

Enfin, un quatrième robinet *e* sert à laisser échapper l'air du cylindre.

Quand on veut alimenter, tous les robinets étant fermés, on ouvre celui *e* qui évacue l'air du cylindre, et celui *a* qui amène la vapeur de la chaudière. Lorsque ce cylindre est plein de vapeur, on ferme ces deux robinets, et on ouvre celui *c* qui doit attirer l'eau de la bache. La vapeur en se condensant par le refroidissement de la surface, fait un léger vide, l'eau monte pour le remplir, et, détruisant instantanément toute la vapeur, elle remplit le cylindre en deux minutes. On ferme alors le robinet d'aspiration *c*, et on ouvre les deux *a* et *b* qui communiquent à la chaudière; l'eau du cylindre, placée au-dessus du générateur, y coule par son poids, et n'en est pas empêchée par la pression de la vapeur existant dans le générateur; car cette pression, par le tuyau à vapeur *a* qui se rend à la partie supérieure du cylindre, s'exerce dessus et dessous: et par conséquent son action, se trouvant contrebalancée, est annulée. L'eau, comme nous le disons, peut alors descendre par son propre poids. On comprend qu'avec de doubles tuyaux, le même appareil peut alimenter deux ou plusieurs générateurs. On s'en sort aussi pour monter des liquides, comme le jus de betteraves, aux étages supérieurs des sucreries; mais il ne faut pas les faire aspirer à plus de 4 ou 5 mètres, car, en vertu de la tension de la vapeur qu'ils contiennent, ils cessent alors de bien fonctionner.

355. *Appareil de M. Canson.* M. Canson d'Annonay a trouvé et employé, depuis plusieurs années, un appareil d'alimentation où le mouvement se produit par l'alternative de plein et de vide d'un cylindre oscillant. La régularité et la certitude de cet ingénieux appareil sont parfaites, et il n'exige pas, comme le précédent, la main continue du chauffeur. Il fonctionne en cela comme une pompe alimentaire, mais sans moteur.

CYLINDRES.

356. *Marché de la vapeur. Du tuyau d'introduction.* La vapeur produite, comme nous l'avons dit, dans la chaudière, est conduite par un tuyau de cuivre *a* (*Pl. 4, fig. 4*), dans la double enveloppe *b* des cylindres, que l'on nomme *chemise*, et s'y répand pour les échauffer, avant de se rendre dans les boîtes qui la distribuent alternativement dessus et dessous les pistons.

On emploie quelquefois des tuyaux de plomb pour conduire la vapeur; mais on ne doit le faire, dans les machines, comme dans les chauffages, que pour la vapeur à basse pression, et les soutenir alors invariablement sur toute leur longueur; parce que la soudure à l'étain, quand elle est chauffée, se casse avec la plus grande facilité; c'est même un mauvais mode de construction, parce que ces tuyaux s'allongent sans cesse et se brisent.

Le tuyau d'introduction de la vapeur, doit toujours avoir un grand diamètre, qui, pour une machine de 12 à 16 chevaux, ne doit pas être au-dessous de 0 m., 055 : des tuyaux plus étroits n'offriraient pas à la vapeur un passage assez facile. En effet, les frottements augmentent considérablement avec la vitesse que la vapeur est obligée de prendre : pour une vitesse double, ils sont quatre fois plus grands : et lorsque les tuyaux ont 4 ou 5 mètres de longueur, comme cela a lieu ordinairement, s'ils sont trop étroits, la température et la tension de la vapeur restent moindres dans la chemise que dans la chaudière : cette différence de tension est une perte réelle, puisqu'elle est employée tout entière, et sans résultats, à vaincre les frottements que la vapeur éprouve dans de petits tuyaux. Quand les tuyaux ont un diamètre suffisant, la diffé-

rence de tension de la vapeur de la chaudière, à celle qui est rendue dans la chemise, est d'environ $1/20$, suivant M. Poncelet.

Les constructeurs ont aujourd'hui, pour calculer le diamètre de ces tuyaux, des règles vérifiées par la pratique. Il faut donc conserver avec soin dans la chemise toute la force de la température et de la tension, soit pour que la vapeur traverse plus rapidement les boîtes, et développe plus de puissance mécanique, soit pour échauffer plus vite la vapeur qui se détend sur le grand piston.

357. *Eau qui remonte dans la chemise.* En même temps, si un courant d'air froid vient tout à coup à frapper la chemise, il s'y produit une condensation subite, et la vapeur de la chaudière étant gênée dans son passage à travers ces tuyaux étroits, ne peut pas y arriver avant l'eau qui a moins de chemin à parcourir pour remonter par le tuyau de décharge, destiné à ramener à la chaudière l'eau condensée dans la chemise : de sorte que les machines dont les tuyaux d'introduction ne sont pas assez larges, éprouvent souvent cet accident, qui porte une boue dangereuse dans la chemise, et jusque dans les cylindres et les pistons.

358. *Nécessité d'augmenter alors la tension dans le générateur.* D'un autre côté, pour conserver à la machine toute sa force, cette résistance d'un tuyau étroit, en diminuant la tension dans la chemise, exige par conséquent, dans la chaudière, un accroissement de température, qui augmente ainsi toutes les pertes par les masticages qu'il fatigue, et par les surfaces, et surtout accroît la dépense de combustible, en diminuant la différence de température entre le feu et l'eau de la chaudière : d'où résulte qu'il ne peut plus passer autant de chaleur à travers le métal, et qu'une partie de l'effet de la houille est détruit.

359. *Insuffisance du tuyau pour débiter la vapeur.* Il peut

même arriver qu'avec un bon fourneau et un feu vif, ce tuyau trop étroit, ne soit plus capable de débiter toute la vapeur produite, et que l'on se trouve exposé à des accidents graves. On pourrait en citer qui paraissent dus à cette cause. Au reste, le moindre inconvénient est de rendre toujours les machines lourdes. Il n'y a, au contraire, aucun danger à donner au tuyau d'introduction un diamètre plus grand, qui, au lieu de 35 millimètres, que quelques constructeurs ont adopté pour les tuyaux des machines de 16 chevaux à moyenne pression, doit avoir environ 60 millimètres, c'est-à-dire, présenter à la vapeur un passage quatre fois plus grand.

Dans les machines à basse pression, comme dans tous les chauffages à vapeur, il est plus important encore de donner un grand diamètre aux tuyaux ; pour une machine de 16 chevaux, il doit s'élever à 12 ou 15 centimètres au moins, parce qu'il n'existe plus alors dans la chaudière qu'une tension très-faible, qui doit cependant imprimer à la vapeur la vitesse considérable dont elle a besoin pour remplir rapidement le cylindre.

360. Du robinet et du tuyau de décharge. L'eau qui provient de la vapeur condensée dans la chemise, est tantôt ramenée dans la chaudière par un large tuyau de décharge, tantôt, ce qui vaut beaucoup mieux, jetée immédiatement dans le condenseur par un petit robinet placé au bas de la chemise, vissé fortement dans la fonte, et dont on règle l'ouverture de manière à ne livrer passage qu'à l'eau seule, sans laisser échapper de vapeur.

Cette eau est souvent trouble, parce qu'elle entraîne les matières terreuses que la vapeur porte dans la chemise ; en la jetant ainsi dans le condenseur, on évite d'envoyer ces dépôts à la chaudière, et aussi la chemise en est beaucoup moins salie.

Si cependant on attachait à la perte de cette eau chaude,

plus d'importance que nous ne croyons convenable de le faire, on pourrait aussi monter en même temps sur la chemise, un tuyau de retour à la chaudière et un robinet de décharge : on ouvrirait ce dernier de temps en temps pour laisser passer un courant rapide de vapeur, capable de détacher et de balayer tous les dépôts amassés. Il sera utile, en outre, de passer par le robinet un fil-de-fer dans toute la circonférence de la chemise, pour en détacher les crasses, et les livrer plus facilement à l'action du courant de vapeur.

361. L'addition du tuyau de retour nous paraît, en somme, inutile, parce que l'on peut également bien balayer la chemise avec de la vapeur, sans l'employer, et que l'économie de combustible, qui résulte du retour de l'eau condensée à la chaudière, ne s'élève pas à 5 ou 6 k. de houille, sur vingt-quatre heures de travail, dans une machine de 12 à 16 chevaux. Or, il est impossible d'entretenir assez bien une machine, pour que sa consommation ne varie pas chaque jour dans des limites beaucoup plus grandes, par des causes très-légères et souvent impossibles à apprécier; et, en outre, le plus léger accident qui serait dû à l'emploi du tuyau de décharge, enlèverait à la fois toute l'économie ainsi obtenue pendant une année.

362. *Précautions à prendre en hiver.* Le robinet de décharge est aussi très-utile pour vider complètement la chemise, quand on est obligé d'arrêter la machine pendant quelques jours, en hiver : parce que si l'eau qu'on y pourrait laisser venait à se geler, la chemise serait infailliblement fendue. Nous avons eu plus d'un exemple de cet accident. On ne peut prendre les mêmes précautions pour le tuyau à vapeur et le tuyau de décharge; mais il faut avoir soin de les envelopper de lisières de drap, ou de paille, ou d'une couche épaisse de charbon; et s'assurer qu'ils ne sont pas bouchés par la glace, quand on rallume le feu après un ou deux jours de repos.

Nous recommanderons en même temps ici, de laisser échauffer lentement, complètement et pendant plusieurs heures, une machine qui aurait été exposée à la gelée; car l'eau qui reste dans le cylindre, dans le condenseur et dans les boîtes peut être gelée, et si on ne la fondait pas d'avance, les pièces de la machine devraient nécessairement se briser au moment où on la met en marche: nous l'avons vu pour les tiroirs.

Ces deux tuyaux doivent être munis chacun d'un robinet, afin de pouvoir arrêter la vapeur qui continue à se condenser sans utilité, dans la chemise, lorsqu'il faut laisser la machine quelque temps en repos, et qui, par cette incommode chaleur, rend beaucoup plus fatigants les travaux d'entretien.

363. *Du parallélisme des cylindres.* Une des conditions les plus importantes pour la bonté d'une machine de Woolf, est sans contredit le parallélisme parfait de ses deux cylindres, sans lequel on ne parviendrait jamais à les placer tous deux verticalement; et dans les machines de tout autre système, la parfaite perpendicularité des cylindres, est la première condition de bonne marche, d'économie et de durée. On voit souvent des cylindres bien ajustés dans l'atelier de construction, n'être plus parallèles après un transport de 100 lieues et plus, parce que les trois vis *ddd* (*fig. 4 et 5*), qui traversent la chemise, et les maintiennent, ont changé de position. Rien de plus facile que de desserrer ces vis, d'enlever le mastic *e* qui réunit les cylindres à la chemise, et de les redresser avec toute la rigueur possible, lorsque les mécaniciens ont eu la précaution de laisser les têtes des vis apparentes sur la chemise.

364. Le meilleur moyen à employer pour dresser les deux cylindres, est de mettre la chemise d'aplomb, aussi bien qu'on pourra le faire : puis d'y placer les deux cylindres, et de rendre chacun d'eux parfaitement perpendiculaire, en les réglant successivement avec un niveau formé d'une planche

(Pl. 5, fig. 8) de 2 m. à 2 m. 1/2 de longueur, qui entre à frottement dans chaque cylindre, et sur le milieu de laquelle est tracée une ligne parfaitement parallèle à ses côtés. A la moitié de la hauteur de la planche, et sur cette ligne, une ouverture reçoit le plomb attaché à un fil très-délié, qui descend du haut de la planche sur la ligne du milieu. On dresse le cylindre jusqu'à ce que, en tournant le niveau dans tous les sens, le fil à plomb couvre toujours la ligne verticale de la planchette. Quand cette opération est faite sur les deux cylindres, on peut compter sur leur parallélisme. Il faut alors les mastiquer avec le plus grand soin, et resserrer les vis pour qu'elles maintiennent les cylindres dans une position invariable, sans cependant les comprimer, parce que le cylindre, n'étant pas parfaitement rond, ne se trouverait plus fermé complètement par le piston. Or, ce dernier danger est beaucoup plus réel que l'on ne serait porté à le croire; il se présente tous les jours dans l'alésage des cylindres; et on les voit s'aplatir d'une quantité sensible sous la pression de la chaîne de fer qui les retient. Quand les têtes de vis sont noyées dans la fonte, il faut les découvrir, forer à travers la fonte un trou un peu plus grand, le tarauder et y mettre de nouvelles vis, dont on laisse dépasser la tête. On peut aussi dresser et dégauchir les deux cylindres en posant sur leur bord tourné, une règle en fer, et le niveau d'eau. Ce procédé est plus sensible que le précédent.

365. *Rupture du fond du petit cylindre.* Le fond des cylindres *ff*, qui y est mastiqué à queue d'hironde, vient quelquefois à se fendre par un choc du piston, où se trouve en partie démastiqué, de manière que la vapeur passe immédiatement de la chemise dans le cylindre; et de là dans le condenseur, pendant une partie de la course du piston, si la fente s'est faite dans le grand cylindre.

Si c'est au contraire le petit cylindre qui s'est brisé ou démastiqué, bien que la perte de vapeur soit moins grande,

puisqu'elle va encore travailler sur le grand piston ; cependant elle gêne beaucoup la marche de la machine, en résistant à son action pendant la descente du piston : et, si la fente était assez large, elle pourrait l'arrêter. On ne peut reconnaître positivement les fentes du petit cylindre, qu'en enlevant le piston, et envoyant de la vapeur dans la chemise.

366. *Envoi de la vapeur dans la chemise pour reconnaître les fuites des cylindres.* Pour qu'il y ait certitude dans cette expérience, il faut que la vapeur envoyée dans la chemise ait au moins 4 atmosphères de tension. Quand ces fuites sont très-faibles, on les reconnaît en essuyant parfaitement le fond du cylindre, et là où est le défaut de masticage, là se montre au bout de quelques instants de l'eau, puis un léger bouillonnement.

367. On peut encore reconnaître les passages de vapeur qui se feraient dans le fond des cylindres, s'ils sont assez forts, sans démonter les pistons. On enlève les plateaux des boîtes et les tiroirs, pendant que la vapeur est dans la chemise, et alors la vapeur qui a pénétré dans le grand cylindre, vient sortir par l'ouverture qui conduit au condenseur; (nous supposons les pistons à moitié course, en descendant), et la vapeur qui pénètre dans le petit cylindre par son fond, vient sortir par le passage inférieur de vapeur de la boîte du petit cylindre. La seule attention à avoir, est de ne pas prendre la vaporisation du peu d'eau que contiennent les cylindres, pour une fuite réelle, ce qu'on vérifie en prolongeant l'examen.

368. *Symptômes de la rupture du fond du grand cylindre.* Le premier signe auquel on peut reconnaître la communication établie entre la chemise et le grand cylindre, et le passage direct et inutile de la vapeur au condenseur, est l'échauffement extraordinaire de ce dernier, et la blancheur de son eau troublée par des matières terreuses. Pour s'en assurer, il suffit d'arrêter un instant la machine, dans la position où les pistons

commencent à descendre, et où, par conséquent, la partie inférieure du cylindre est en communication libre avec le condenseur. Si le cylindre est fendu ou démastiqué, la vapeur continue toujours à échauffer le condenseur, sans que la machine travaille, et à y porter de l'eau blanchie par les dépôts terreux de la chaudière.

Si le masticage seul est détruit, la réparation en est facile; il faut enlever le cylindre de la chemise, mastiquer de nouveau le fond, puis le remettre en place avec les précautions que nous venons d'indiquer pour le dresser. Il est seulement nécessaire de laisser sécher ce masticage pendant un jour ou deux à l'air, avant de remonter le cylindre.

Si le fond du cylindre avait trop peu d'épaisseur pour faire un masticage solide, il faudrait passer trois vis à travers les parois du cylindre, et jusque dans les bords du fond pour les maintenir invariablement; puis opérer le masticage.

369. *Réparation avec une plaque.* S'il y a une fente légère dans le cylindre, on peut encore la réparer complètement, avec un bon masticage, maintenu par une plaque de tôle et une forte bande de fer serrée autour du cylindre au moyen de vis, ou mieux par une plaque taraudée et des vis de cuivre, comme nous l'avons dit en parlant du raccommodage des bouilleurs. En tout cas, il est facile de découvrir les fuites ou les défauts de fonte par lesquels la vapeur pourrait passer dans les cylindres, en enlevant les plateaux et les pistons, et envoyant dans la chemise, de la vapeur à une forte tension, qui se fait promptement jour à travers les fentes.

370. *Masticage des cylindres à la chemise.* Quant au masticage supérieur qui réunit les cylindres à la chemise, sans cesse exposé aux dilatations et condensations inégales de ces trois pièces, et à la forte tension de la vapeur, il se fend, et laisse souvent échapper une petite quantité de vapeur, qui, sortant de la chemise, ne peut altérer en rien la marche de la

machine. Il est très-difficile d'arrêter complètement ces fuites, qui d'ailleurs deviennent insensibles dès que la machine travaille; et l'on n'y réussit guère et pour quelque temps seulement, qu'en renouvelant entièrement le masticage. Il est probable que ces fuites sont souvent dues à l'allongement que les cylindres éprouvent par le haut, sous l'action de la chaleur, quand ils sont retenus trop solidement par leurs vis de pression. Aussi, ne doit-on pas serrer ces vis plus fortement qu'il n'est nécessaire pour maintenir les cylindres dans leur position verticale.

Lorsque les cylindres sont rayés, ce qui a lieu souvent quand les ressorts des pistons viennent à se briser, il faut les aléser de nouveau; sans quoi l'on perdrait inutilement une très-grande quantité de vapeur qui passerait directement au condenseur (107).

371. *Cylindres et chemises coulés d'une pièce.* Le moulage des pièces mécaniques en fonte a été porté si loin aujourd'hui, que l'on coule d'une seule pièce, et sans aucun joint, la chemise et les deux ou trois cylindres des machines de Woolf ou de Steele, avec leurs conduits de vapeur. On évite ainsi tous les joints et les chances de fuite des conduits de vapeur et des cylindres, excepté pour les fonds de cylindre que l'on fait toujours séparément.

Il y a là de grands avantages; le seul inconvénient est d'avoir à remplacer la pièce entière, si l'un des cylindres se brisait, ou était rayé assez profondément pour demander un renouvellement.

372. *Masticage du plateau.* Le masticage des plateaux qui ferment les cylindres ne peut être bien fait que quand le bord des cylindres est dressé et tourné avec soin; sur une largeur de 35 à 40 millimètres et parfaitement perpendiculaire au cylindre.

On trouvera dans l'article relatif aux mastics, la composition

du mastic rouge, et la manière de l'employer pour le masticage des plateaux et de toutes les autres pièces d'une machine.

Nous dirons seulement ici que, quand on descend le plateau sur le masticage, et quand on a mis tous les boulons en place, sans les serrer, il faut les serrer lentement, à plusieurs reprises différentes, et les uns après les autres, afin que le mastic soit également comprimé, le plateau bien placé d'aplomb, la tige du piston exactement au milieu du chapeau *a* (fig. 6) de la boîte à étoupes, et que ce chapeau joue librement autour de la tige sans être bridé d'aucun côté, car il l'userait alors rapidement. Pour le vérifier avec plus de certitude, il faut, pendant que l'on serre les boulons des plateaux, placer le balancier dans différentes positions, surtout au bas de la course des pistons, parce que c'est dans cette position que les tiges, étant entièrement maintenues par le piston et le plateau, pourraient être le plus dangereusement forcées, dans le cas où leur course ne serait pas parfaitement perpendiculaire.

Si le bord des plateaux était assez mal dressé pour que l'on ne pût pas parvenir, en serrant les écrous, à maintenir la tige au milieu de la boîte à étoupes, il faudrait augmenter la quantité de mastic du côté qui serait trop faible, ou même, au besoin, mettre une demi-rondelle de plomb par-dessus la première, et la mastiquer de même.

373. Les écrous qui maintiennent les plateaux doivent être serrés avec force sur le mastic, tandis qu'il est encore mou. S'il s'y déclarait pendant le travail de la machine, quelques fuites qui laissassent entrer l'air dans le grand cylindre, et rendissent la marche lourde, il ne faudrait pas essayer de serrer de nouveau les écrous sur le mastic sec; mais, au lieu de lever les plateaux et de les mastiquer de nouveau, ce qui est une dépense assez importante de temps et de mastic, il faudrait chasser de l'étaupe enduite de mastic entre le plateau

et la rondelle de plomb avec un mattoir un peu mince. On parviendrait ainsi à arrêter complètement les fuites sans difficulté et sans dépense.

Lorsque l'ajustement des plateaux et des cylindres a été bien soigné par le constructeur de la machine, on n'a pas besoin de précautions aussi grandes, car les bons constructeurs dressent et rôdent ensemble les bords du cylindre et du plateau, assez parfaitement pour qu'une légère couche de mastic très-mou suffise à empêcher toute fuite. Nouvelle preuve, s'il en était besoin, que la perfection, dans la construction d'une machine, est un des moyens les plus sûrs et les plus puissants d'économie que l'on ait à employer.

374. *Boîte à étoupes.* Quelquefois la rondelle de cuivre *b* (*fig. 6*) qui se trouve placée au fond de la boîte à étoupes du plateau, est trop libre : et entraînée par la tige du piston qui monte, elle est ramenée avec un choc violent à sa descente.

Pour corriger ce défaut, on doit élargir légèrement cette rondelle au dehors, ce qui la fait entrer à force dans la boîte à étoupes, et y rester solidement fixée. On doit augmenter d'une petite quantité son diamètre intérieur, si le passage de la tige du piston n'est pas assez libre.

375. *De la boîte à étoupes.* Les étoupes dont on remplit les boîtes des plateaux, doivent être fines et douces, en un mot, de belle qualité. Celles de chanvre sont les meilleures. Il faut surtout les employer très-propres et sans poussière, parce que les moindres cailloux ou matières dures, qui s'y trouveraient, rayeraient et useraient rapidement les tiges des pistons, et livreraient passage à l'air, à travers la boîte à étoupes. Il en serait de même si elles étaient dures. On les tord et on les frotte de suif ; on les serre à plusieurs reprises au moyen du chapeau de la boîte et de ses écrous pour les tasser, jusqu'à ce que la boîte soit complètement pleine, et l'étoupe fortement serrée. A mesure qu'elle se tasse par le travail de la

machine, on resserre les écrous : ou même on en ajoute de nouveau pour empêcher l'air d'entrer dans les cylindres ; et surtout dans le grand, où il pénètre bien plus facilement, parce que le vide s'y produit à chaque course de piston.

On s'aperçoit que l'air entre dans le cylindre, quand la graisse fondue dont on remplit le chapeau de la boîte à étoupes, est rapidement absorbée par le cylindre, et passe au condenseur dont elle va salir l'eau.

376. Lorsque l'étoupe est dure et peu graissée, et que l'on serre trop fortement les écrous, le frottement de la tige suffit pour la brûler en dégageant une épaisse fumée. On arrêtera sans peine cet accident, en desserrant légèrement les écrous, et remplissant de suif la boîte à étoupes, jusqu'à ce que cette combustion soit arrêtée.

Si l'étoupe est brûlée et charbonnée, on la renouvelle en totalité.

On doit, tous les huit ou dix jours, recharger la boîte de nouvelles étoupes, à mesure qu'elles se tassent, et après trente ou quarante jours de service, quand on s'aperçoit qu'en serrant les écrous, on n'arrête plus l'introduction de l'air, et que l'étoupe, devenue dure comme du bois, résiste à la pression, on l'arrache avec un crochet de fer, et on la renouvelle en entier ; elle est alors noire et complètement brûlée.

377. L'entretien de toutes les boîtes à étoupes d'une machine est un objet si important, que le manufacturier qui ne les surveillerait pas spécialement, dépenserait, sans aucune utilité, une grande quantité de graisse, constamment entraînée dans le condenseur, et, ce qui est bien plus grave, verrait inévitablement l'air qui pénétrerait par toutes les boîtes à étoupes, enlever à sa machine une grande partie de sa force, et comme le font en définitive toutes les maladies des machines, accroître énormément sa consommation de houille.

378. *Raccourcissement des cylindres brisés.* Il sera utile d'in-

diquer ici le moyen de raccommoder avec solidité et propreté la chemise d'un cylindre, si elle venait à se fendre par le bas, et à se détacher de son fond, comme cela arrive quelquefois par la gelée, quand on n'a pas la précaution de la vider complètement d'eau, au moment où on arrête une machine pour quelque temps : bien que la meilleure réparation, et la seule que nous ayons à conseiller, soit un remplacement complet. Mais pour ne pas perdre de temps, en cas que l'on ne puisse pas avoir de longtemps une chemise nouvelle, il faut savoir comment réparer provisoirement celle qui est brisée.

On fait couler une plaque de fonte, qui entre dans la chemise avec assez de jeu pour la mastiquer à l'entour. On y laisse quatre ou cinq oreilles, qui s'appliquent contre les parois de la chemise. Au travers de celle-ci et de ces oreilles, on passe des vis dont la tête reste au dehors, proprement limée, ou destinée même à être arrondie pour être moins apparente. Ces vis fixent invariablement la partie supérieure de la chemise à ce plateau de fonte. Pour relier le tout au fond de la chemise, on y perce 8 ou 10 trous que l'on taraude à travers le plateau dont nous venons de parler, et on mastique les vis d'acier que l'on y serre fortement. Par ce moyen, les deux parties séparées de la chemise se trouvent solidement reliées. Il ne reste plus qu'à mastiquer en dedans, le tour du plateau avec du mastic de fonte, pour empêcher toute fuite. Une chemise ainsi raccommodée, ne présente plus de trace de fente, et n'offre pas le moindre inconvénient.

PISTONS.

379. *De l'engorgement du piston.* La maladie la plus ordinaire des pistons est une crasse épaisse et dure, qui remplit entièrement tout l'espace vide occupé par les ressorts (pl. 5,

fig. 1 et 9), et s'oppose à leur action, et au jeu des segments de fonte : de sorte que le piston ne formant plus alors qu'une pièce, la vapeur passe sans obstacle de l'autre côté, et la machine perd ainsi une très-grande partie de sa force. A mesure que les pistons se salissent, la puissance de la machine diminue; mais au moment où les crasses se sont accumulées en quantité considérable, et où le jeu des ressorts et des segments cesse entièrement, elle tombe tout à coup : ce n'est qu'avec les plus grands efforts qu'elle enlève sa charge, et la quantité de houille que l'on consomme devient considérable.

380. *Moyen de reconnaître si le piston laisse échapper la vapeur.* On reconnaît facilement si le petit piston laisse échapper la vapeur, par sa circonférence, en disposant la machine de manière que la vapeur arrive dessous le piston *c*, et laissant le robinet du plateau ouvert. La vapeur qui passe autour du piston, sort alors par le robinet du plateau. Cet essai est encore plus facile dans les machines à un seul cylindre.

Quant au piston du grand cylindre, pour l'essayer, il serait nécessaire de démonter le tiroir du petit cylindre pour envoyer directement la vapeur à pleine pression sous le grand piston ; il est plus court de le nettoyer de suite.

Le remède est facile : il suffit de sortir les pistons des cylindres, de les démonter et de les nettoyer ; mais on doit faire la plus grande attention, d'abord à ne pas changer la place des segments *a*, en remontant les pistons; ensuite à renouveler tous les ressorts brisés, ou qui seraient devenus trop faibles; enfin à remettre les pistons dans la position qu'ils occupaient précédemment, parce que le frottement les a pour ainsi dire moulés sur la fonte, et les a fait joindre parfaitement : si on les changeait de place, il faudrait souvent plusieurs jours de travail, pour opérer le même ajustement : jusque-là les pistons laisseraient échapper beaucoup de vapeur, et la machine resterait lourde.

381. *Des ressorts.* Les ressorts doivent être trempés assez fortement, pour presser sur les segments, et les forcer à joindre avec les cylindres, malgré la résistance occasionnée par le frottement qu'ils exercent les uns sur les autres ; mais il faut éviter avec soin de les employer trop raides ou trop longs, on userait en peu de mois les segments, et il deviendrait nécessaire de les renouveler : en outre, en serrant les segments avec une petite corde, pour faire entrer le piston dans le cylindre, on pourrait briser les ressorts *cd*. Il faut aussi s'assurer, quand le piston est remonté et prêt à entrer dans le cylindre, que tous les segments jouent librement et avec facilité, en les pressant avec la main jusqu'au fond. Si l'on sent une résistance autre que celle de l'élasticité des ressorts, on peut être certain qu'elle est due au dérangement d'une pièce, et l'on doit enlever le plateau de fonte qui couvre le piston, pour rétablir tout en ordre. On a vu souvent un des petits coins *b* sorti de son prisonnier, briser des ressorts, pousser, par sa fausse position, un des segments *a* avec assez de force pour l'user complètement, et venir souvent lui-même frotter et se limer contre le cylindre. Il est dangereux d'employer des ressorts trempés trop durs, ou trop bandés, ou de ne pas donner assez de soins à leur ajustement, parce que quand ils viennent à se briser, un morceau peut s'engager entre les segments de fonte et rayer profondément le cylindre. C'est la cause la plus ordinaire de cet accident des cylindres, et il n'y a pas d'autre remède à y apporter que de les aloser (98).

382. La préparation des ressorts est facile, bien qu'elle demande quelques soins. On prend du fil d'acier fondu de 2 millimètres environ de diamètre, bien recuit ; puis, ajustant à un vilbrequin une tige de fer rond, d'un diamètre un peu plus petit que celui des ressorts que l'on veut obtenir, on attache le bout du fil d'acier au vilbrequin, et tournant celui-ci pendant qu'un ouvrier tient le fil à la main et

le laisse couler lentement sur un morceau de bois, on le roule en boudin autour de la tige de fer rond dans toute sa longueur; on le sort ensuite de dessus la tige, en desserrant légèrement le boudin de fil d'acier, puis on écarte chacun des anneaux de l'anneau suivant, en faisant passer le tout successivement comme une vis sur le côté d'un burin ou d'un morceau de fer, dont l'épaisseur détermine l'écartement de chacun des tours du boudin. On trempe ensuite les ressorts, en ayant soin de chauffer toute leur longueur jusqu'au rouge cerise. C'est l'égalité parfaite de la chauffe qui fait la bonté des ressorts et en prévient la rupture; on doit pour cela les chauffer sur un feu de charbon de bois bien embrasé, et les jeter alors dans l'eau froide. Ils se trouvent ainsi trop fortement trempés: pour les recuire, on les essuie, on les frotte d'huile, puis on les met sur des charbons de bois ardents jusqu'au moment où l'huile s'enflamme; alors on les jette de nouveau dans l'eau, et leur degré de trempé est convenable.

On peut aussi les recuire en les plongeant dans du plomb fondu; ce procédé est même plus sûr, et donne une trempé plus régulière que la trempé à l'huile qui demande une main exercée. Les ressorts d'acier employés dans les soupapes se trempent par le même procédé.

383. *De la longueur à donner à la tige des pistons.* Pour perdre moins de vapeur, et ne pas laisser d'eau au fond des cylindres, on fait descendre les pistons le plus bas possible, sans cependant toucher le fond. M. Hall ne laisse que 4 ou 5 millimètres de jeu. Mais quelquefois les pistons descendent si près du fond du cylindre, que pour peu que les clavettes, soit de leur tige, soit du parallélogramme, viennent à se relâcher, ils le touchent, et peuvent le briser. C'est un accident dont il est facile de s'apercevoir aux coups que l'on entend dans le fond du cylindre: il faut, dans ce cas, arrêter de suite la machine, puis enlever la clavette *a* (pl. 5, fig. 1), qui attache

la tige *b* du piston au parallélogramme; ce qui se fait en soutenant pendant ce temps le piston au moyen de deux mâchoires en bois (*pl. 5, fig. 11*), qui embrassent sa tige. On passe au travers de ces mâchoires deux boulons (ceux de la boîte à étoupes, par exemple), que l'on serre fortement, pour que le piston appuyé ainsi sur la boîte à étoupes ne puisse plus descendre. Quand la clavette est enlevée, on fait monter le balancier, qui emporte avec lui la tête de la tige des pistons, et on peut buriner et limer l'extrémité de cette tige, pour en diminuer la longueur et empêcher, par conséquent, le piston de descendre aussi bas. Il faut en même temps abaisser d'une quantité égale la mortaise de la clavette, pour que celle-ci puisse conserver du serrage. On redescend alors le balancier, on fait entrer la tête du piston sur la tige, on remet la clavette, et on n'oublie pas surtout de l'ouvrir, de peur qu'elle ne se desserre.

384. Clavette du piston qui échappe. Si cette clavette venait, en effet, à s'échapper de sa mortaise, le piston, qui ne serait plus lié au parallélogramme, serait lancé par la vapeur, avec une force et une vitesse effrayante, tantôt contre le plateau, tantôt contre le fond du cylindre, et ne pourrait manquer de les briser et de rompre le balancier par le choc de sa tige; on peut en citer des exemples. On doit dans ce cas, ainsi que dans tous les accidents qui arrivent à l'improviste, se hâter de fermer le robinet d'introduction de la vapeur, et d'ouvrir ceux qui sont placés sur les cylindres pour arrêter la machine.

385. Tige trop courte. Quelquefois aussi la tige des pistons ou le cylindre lui-même sont trop courts, et le piston montant au-dessus du trou qui amène la vapeur dans le haut du cylindre, le ferme en partie, ou au moins entrave beaucoup la marche de la machine, en s'opposant à l'entrée de la vapeur. Le seul remède est de changer la tige du piston, la manivelle ou les cylindres, suivant l'occurrence. Il ne faut donc pas

oublier, quand la machine est montée, avant de mastiquer les cylindres, de s'assurer que la course des pistons est bien réglée.

386. *Du jeu que prennent les pistons sur leurs tiges.* On voit parfois la clavette *d* qui serre le gros piston, ou l'éclou *a*, fig. 5, qui serre le petit piston sur leur tige, prendre du jeu quoique l'une soit ouverte et l'autre rivée. On entend alors les pistons, poussés par la vapeur au moment où elle vient agir par-dessous, être lancés avec un choc contre la clavette *d*, ou contre l'embase *b*, sur lesquelles ils devraient être pressés invariablement. L'oreille suffira pour indiquer avec évidence que ce bruit a lieu dans l'intérieur des cylindres, et on concevra facilement qu'il n'ait lieu qu'en bas et non pas en haut de la course des pistons, puisqu'en haut leur poids seul, équilibré pendant leur course par la vapeur, les fait redescendre de toute la quantité dont ils sont libres, à mesure que la vapeur se détend : tandis qu'en bas de la course, leur poids les maintenant au bas de l'espace laissé libre par la clavette et l'éclou, la vapeur qui arrive avec force en-dessous le leur fait franchir avec rapidité et violence. Il faut, dans ce cas, enlever les pistons des cylindres, élargir la clavette si elle est refoulée, ou river avec soin l'éclou après l'avoir fortement serré.

387. *La tête du piston ne doit pas tourner.* La clavette de la tête de la tige des pistons doit être assez serrée pour que cette tête ne tourne pas, et ne joue pas sur l'arbre *c* qui la traverse, mais que l'arbre lui-même tourne dans les grains de bronze qui portent ses tourillons. Quand l'arbre tourne dans la tête du piston, comme il tourne à sec, on entend un frottement très-dur, et le cri aigu du fer qui s'use contre la fonte; et il y a bientôt assez de jeu pour donner un choc. Un coup de maillet ou de marteau sur la clavette, et la précaution de l'ouvrir plus à fond, suffisent pour arrêter ce bruit.

388. *Pistons à trois segments.* On trouve dans quelques

machines à haute pression, d'une assez grande force, des pistons, dont la garniture est divisée en trois segments, au lieu de l'être en six ou même huit; et où les segments ne sont pressés contre le cylindre que par les trois ressorts qui agissent sur les coins placés entre les segments.

On est alors obligé d'employer des ressorts très-forts et très-durs, et comme ils n'ont que peu de jeu, l'on se trouve ainsi exposé à les laisser ou trop raides, et par conséquent à user rapidement les segments, ou trop courts, et à voir alors la vapeur passer en abondance au condenseur, sans travailler, parce que les segments ne jouent pas, et ne pressent plus contre le cylindre.

On ferait de grandes pertes en combustible, si l'on ne changeait pas ces pistons, pour y adapter une garniture divisée en six ou huit segments, et un grand nombre de ressorts plus minces et plus doux.

Tels sont les soins que réclament les pistons métalliques, de quelque construction qu'ils soient.

389. *Des segments.* On a pendant longtemps employé exclusivement le bronze à la confection des segments dont se composent les pistons des machines à haute pression. Depuis quelques années on a remplacé le bronze par la fonte douce et d'un grain très-fin. La différence de qualité entre la fonte des cylindres et celle des segments suffit pour que les frottements soient très-doux. Les surfaces en contact se polissent et se glacent, et les résultats donnés par l'emploi de la fonte sont très-bons. On avait cru y trouver une beaucoup plus longue durée qu'avec le bronze, mais, d'après un habile manufacturier de nos amis, il n'en est rien, et l'usure des pistons est à peu près la même. Mais on emploie moins de suif à graisser les pistons de fonte que ceux de bronze: et outre l'économie directe, il en résulte l'avantage de ne pas salir autant les machines.

390. *Pistons des machines à basse pression.* Quant aux pistons des machines à basse pression, ils ne se salissent pas comme ceux des machines à haute pression, et ne demandent à être démontés que quand les tresses de chanvre qui les entourent, commencent à s'user et à laisser passer la vapeur. Il faut avoir soin de serrer fortement les tresses graissées que l'on y remet, et de faire entrer le piston à force dans le cylindre, parce que le frottement lui donne promptement assez de jeu.

Tous les quinze jours, on est obligé de démonter les pistons pour les regarnir en partie, et en totalité toutes les six semaines. La consommation d'étoupes et de suif qu'ils exigent est énorme. On emploie aujourd'hui, dans les machines à basse pression les mieux montées, des pistons à segments de fonte, et l'économie de suif obtenue ainsi à la manufacture royale de tabac de Paris, a été trouvée des $\frac{2}{3}$ au moins.

ENTABLEMENT ET BALANCIER.

391. *Invariabilité de l'entablement.* On trouvera dans l'article relatif à la pose des machines, les précautions à prendre pour que l'axe de rotation du balancier soit parfaitement horizontal, condition indispensable au règlement du parallélogramme et à la conservation des grains de la bielle et de la manivelle.

On voit quelquefois l'entablement d'une machine à vapeur prendre du mouvement dans les murs qui le supportent, parce que les tourillons du balancier agissent, à chaque course des pistons, sur l'entablement, au bout d'un bras de levier fort long, et tendent à le faire tordre. Ce défaut est presque inévitable quand l'entablement est fixé par des boulons, à des pièces de bois placées dans les murs, parce que le

bois ne faisant jamais corps avec la maçonnerie, s'en détache et s'ébranle immédiatement : le mouvement de l'entablement qui en résulte, communique une secousse fâcheuse à toute la machine, et altère la verticalité de la tige du piston.

Les mécaniciens doivent éviter d'attacher des pièces de fonte à des pièces de bois, toutes les fois qu'ils peuvent les fixer à la pierre de taille, surtout quand ces pièces de bois ne sont reliées qu'à de la maçonnerie. C'est seulement sur la pierre de taille que des machines peuvent être solidement et invariablement établies. Il faut donc attacher l'entablement à des pierres de taille, dans lesquelles on scelle des boulons avec du plâtre et de la limaille de fonte, et placer d'autres pierres par-dessus les premières.

392. *Entablements à T.* Pour éviter cet inconvénient dans les fortes machines, on donne aux entablements deux croix dont les extrémités sont portées sur quatre colonnes qui s'opposent à tout mouvement latéral, comme on les voit ponctuées (*pl. 4, fig. 7, a et b*). Nous avons atteint le même but dans les petites machines, en coulant les deux extrémités de l'entablement en croix *c* : cette croix se trouve posée, et même, si l'on veut, boulonnée dans les deux murs de la chambre de la machine, sur une pierre de taille *d*, et recouverte par une autre pierre très-forte *e*; de sorte que tout mouvement devient impossible, si ce n'est qu'il s'opère dans l'entablement un léger mouvement de torsion, mais qui ne se communique pas jusque dans le mur.

393. *Du jeu que prennent les boules du balancier.* Quelquefois les boules *a* (*pl. 4, fig. 3*) des têtes du balancier prennent du jeu et occasionnent dans la machine une secousse assez forte, et dont la cause est difficile à reconnaître. On y parvient cependant avec quelque expérience, en posant la main sur les boules pendant que la machine marche, après avoir cherché inutilement la cause de ce choc dans la tête de la

bielle, dans la manivelle et dans le parallélogramme, et on corrige ce défaut en démontant à moitié la boule *a*, faisant entrer dessous une feuille de cuivre mince qui ôte tout le jeu, et forçant, à grands coups de maillet, la boule à rentrer à sa place par-dessus la feuille de cuivre.

PARALLÉLOGRAMME.

394. Quelque importante que soit la connaissance complète du parallélogramme, nous ne donnerons pas ici les procédés employés pour le tracer et le construire. L'ouvrier chargé du soin d'une machine à vapeur, reçoit des mécaniciens le parallélogramme construit et monté; il lui suffit de savoir le monter, le régler au besoin, et de pouvoir en reconnaître les défauts. Nous prendrons pour exemple le cas le plus difficile, celui où le parallélogramme d'une machine à deux cylindres est tellement dérangé, où les grains de cuivre sont tellement fatigués, qu'il devient nécessaire de le démonter en entier.

395. *Du nettoyage du parallélogramme.* La première précaution à prendre est de séparer avec soin toutes les pièces, de manière à les remettre exactement en place, c'est-à-dire à ne pas changer de côté les pièces semblables, comme, par exemple, les bras qui soutiennent les arbres auxquels sont attachés les tiges de piston, attendu qu'elles sont ajustées pour une place et des tourillons spéciaux, et que, changées de situation, elles occasionneraient des frottemens nouveaux, et rendraient souvent la machine très-lourde.

On doit donc, en démontant le parallélogramme, en repérer toutes les pièces avec le plus grand soin, si elles ne le sont pas d'avance. On les nettoie toutes l'une après l'autre, pour ne pas mêler les clavettes, les grains de cuivre, ou les

vis qui appartiennent à chacune d'elles ; et pour éviter toute erreur, on remonte chaque pièce après qu'elle est nettoyée.

Si l'on est obligé d'employer l'émeri fin, lavé à l'eau, pour enlever les taches de rouille, il faut prendre beaucoup de précautions pour n'en pas laisser dans les grains de cuivre qui seraient bientôt usés.

396. *De l'usure de ses grains.* L'accident auquel les parallélogrammes sont le plus fréquemment exposés, est l'usure des grains de cuivre, occasionnée par la négligence des chauffeurs, qui serrent trop fortement les clavettes ou les laissent trop lâches. Dans le premier cas, ce frottement extraordinaire chauffe les grains et les lime ; dans le second, les chocs continuels les écrasent et les usent. On trouvera dans la 3^e partie un article sur les procédés à suivre, pour entretenir et réparer les grains usés ou chauffés.

Quand les coups suivis que donne une machine sont dus à une clavette desserrée, il suffit de la resserrer légèrement avec un maillet en bois, ou un marteau de cuivre : un marteau de fer aurait bientôt écrasé et déformé toutes les pièces du parallélogramme. Lorsque les grains de bronze, par suite d'une trop grande usure, se touchent, et que la clavette ne peut plus par conséquent les serrer, il faut ou les recharger d'une feuille de cuivre, comme nous le dirons plus loin, ou en limer les côtés pour leur donner du serrage.

397. *Montage de ses pièces.* Quand toutes les pièces du parallélogramme sont ainsi nettoyées et remises à neuf, on les remonte, en prenant soin, nous le répétons, de ne pas changer de côté les pièces semblables et de les placer, en outre, dans leur véritable sens. Le moyen le plus facile pour se guider sûrement, est de faire attention aux lumières que l'on a réservées dans chaque pièce pour graisser les grains. Ces lumières doivent nécessairement se trouver à la partie supérieure des pièces, comme dans le bras de rappel, ou en

dehors, comme dans les bras des pistons, afin de rendre le graissage plus facile. En satisfaisant à ces deux conditions, et ayant soin de mettre la tête des clavettes du côté de la colonne, il est impossible de se tromper. Lorsque tout est en place, et que les tiges des pistons sont entrées dans leur tête, et fixées par les clavettes que l'on a ouvertes au burin, les bras de la colonne boulonnés à l'entablement et les bras de rappel à leur place, il ne reste plus qu'à régler le parallélogramme, de manière qu'aucune pièce ne fatigue, et que les tiges des pistons soient parfaitement parallèles, et restent perpendiculaires pendant toute leur course. Observons que toutes les conditions indiquées ici, doivent être rigoureusement observées pour que le parallélogramme soit bien réglé, et la machine en état de soutenir sans fatigue un long et fort travail.

398. *Son règlement.* La première opération est de s'assurer que l'axe *a* (pl. 4, fig. 6) de la traverse de la colonne, et la ligne horizontale *ab* qui passe par cet axe, partagent exactement en deux parties égales : 1° la course de la tête *e* du grand piston ; 2° l'arc de cercle *cbd* du bras de rappel. C'est ce que l'on vérifie en mettant la manivelle au plus haut et ensuite au plus bas de sa course, et mesurant dans chacune de ces positions extrêmes la distance perpendiculaire des points les plus élevés et les plus bas, à la ligne horizontale *ab*, passant par la tête *a* de la colonne : d'abord pour l'arc de cercle décrit par le bras de rappel, ensuite pour l'axe *e* de l'arbre du grand piston : et si l'arc de cercle n'est pas partagé exactement en deux parties égales, on raccourcit la colonne, ou on l'allonge au moyen de rondelles de fer, jusqu'à ce qu'elle partage cet arc de cercle en deux parties égales. Si alors la course de la tête *e* du piston n'est plus partagée en deux, par une ligne horizontale passant par l'axe *a* de la traverse de la colonne, et le milieu de l'arc de cercle *cd* du bras de rappel, on baisse

le point où s'attache le piston, ou on le relève en rechargeant les grains de cuivre par-de sus ou en dessous. La plus grande exactitude est nécessaire pour cette vérification, de laquelle dépend tout le règlement du parallélogramme.

Lorsqu'une machine est bien construite et bien montée, au moment où le balancier est horizontal, il doit se trouver exactement au milieu de sa course : dans cette position, les axes *e* de la tête du piston et le bras de rappel, c'est-à-dire les axes *a/b* de la colonne et des ellipses du condenseur et du petit piston doivent être parfaitement de niveau, comme nous venons de le dire. Il arrive cependant assez souvent que le balancier ne se trouve pas horizontal quand il est au milieu de sa course; c'est un défaut de montage qui n'a pas d'autre inconvénient que de forcer à changer les proportions de la colonne, pour que son axe partage en deux parties égales l'arc de cercle du bras de rappel et la course du piston. On doit cependant l'éviter quand on monte une machine, parce que les parallélogrammes sont construits pour que le balancier monte et descende d'une quantité égale au-dessus et au-dessous du niveau de son axe de rotation.

399. Il faut ensuite s'occuper de rendre les tiges des pistons parfaitement parallèles, jusque dans les positions extrêmes. Pour cela, les pistons étant au sommet de leur course, on prend rigoureusement, au moyen d'une règle, la distance qui se trouve entre les deux tiges *em* et *hi*, auprès des boîtes à toupes, puis remontant jusqu'en haut la règle que l'on a coupée à la longueur exacte, on voit avec la plus grande facilité, si l'intervalle des deux tiges est partout égal; s'il ne l'est pas, on approche ou on éloigne la tige du petit piston de celle du grand, au moyen des quatre écrous du chariot qui conduisent l'ellipse et les bras du petit piston.

Ce mouvement s'opère en desserrant les deux écrous du côté où l'on veut pousser la tige, et serrant d'une quantité

égale les deux écrous opposés, de manière cependant à ne pas maintenir les bras trop serrés, mais à y laisser constamment un peu de jeu, principalement du côté du grand piston; car alors, surtout si la tige de ce piston fléchit, les tringles du chariot pourraient se briser par l'effort qu'elles supportent; il faut en même temps vérifier cet écartement des tiges des pistons, en le comparant à la distance des axes des deux cylindres que l'on doit connaître d'avance et qui doit leur être égale.

400. *Tringles articulées du chariot.* Nous disons que les tringles du chariot sont exposées à se briser. C'est un des accidents les plus fréquents des parallélogrammes. En effet, quand les grains des bras du petit piston viennent à s'user, si on serre les clavettes de ces bras, on fait remonter l'ellipse du petit piston et on force les bras du chariot, qui se brisent. C'est pour éviter cet accident que plusieurs constructeurs les font à articulation; tout danger est ainsi évité, sans rien changer aux conditions d'un parallélogramme rigoureusement établi.

401. Mais ce n'est pas assez de rendre les deux tiges de piston parfaitement parallèles, il faut encore qu'en faisant avancer d'un côté ou de l'autre l'arbre qui porte la tige du petit piston, on le fasse marcher carrément, c'est-à-dire que le côté droit, par exemple, ne marche pas plus que le côté gauche. Pour s'en assurer, il faut, avec un grand compas, mesurer la distance de l'axe e de l'arbre du grand piston, à l'axe f de l'ellipse du petit piston; cette distance doit être égale des deux côtés du balancier. Si elle ne l'est pas, on l'égale au moyen des quatre écrous de l'ellipse qui servent, comme on le voit, à mettre les deux tiges parallèles et les arbres qui les portent, d'équerre sur l'axe (ab , fig. 5) du balancier.

402. De plus, la distance de l'axe e de l'arbre du grand piston à celui f de l'ellipse du petit, et la distance de l'axe f de

l'ellipse du petit piston à l'axe *b* de l'ellipse du condenseur, doivent être égales aux distances *no* et *op* des tourillons qui portent les bras du grand et du petit piston, et du condenseur : sans quoi les quatre côtés du parallélogramme, qui doivent être parfaitement égaux deux à deux, ne seraient pas parallèles, et la course des pistons ne pourrait jamais être perpendiculaire, ce qui serait un défaut grave de construction ; on vérifie ces distances au compas.

On s'assure aussi qu'il y a une distance égale des deux côtés du balancier, entre l'axe *f* de l'ellipse du petit piston et celui *b* de l'ellipse du condenseur. Ce que l'on régularise au moyen des écrous placés au bout du chariot.

403. Lorsque les tiges des pistons sont ainsi parfaitement parallèles et le parallélogramme d'équerre sur l'axe du balancier ; lorsque les distances des différents bras entre eux ont été parfaitement réglées et vérifiées, il faut s'assurer que la traverse de la colonne *cc* (*fig. 5*) est bien perpendiculaire à l'axe du balancier.

Pour cela, on prend avec un compas la distance entre le centre *f* de la tête du grand piston, marqué par la pointe du tour, et chacune des extrémités de la traverse *cc*. On trouve toujours sur la partie supérieure du bras de rappel des coups de pointeau, ou des trous pour graisser les grains. C'est sur ces lumières que l'on peut se régler avec le plus de certitude ; il faut que ces deux distances *ef* et *cf* soient égales entre elles, c'est-à-dire que les deux côtés du triangle que forment les deux bouts de la colonne avec le centre de la tête du grand piston soient égaux : autrement la traverse de la colonne serait évidemment gauche, et par le moyen du bras de rappel, elle forcerait, à chaque coup de piston, le parallélogramme à se jeter de côté. En même temps les bras de la colonne *cg* et *ch* seraient alternativement tendus ou courbés, et si la différence était trop grande, une des pièces devrait nécessairement se

briser. On doit cependant observer en mesurant cette distance, que la tête du piston n'est pas toujours exactement sur le grand axe du balancier, c'est-à-dire au milieu de la largeur du parallélogramme, et que, quand ce défaut existe, il faut prendre les mesures de manière à mettre la traverse de la colonne, et par conséquent le parallélogramme, d'équerre, non plus sur la tête des pistons, mais sur le grand axe du balancier, à l'aplomb de son point de centre. C'est à l'aide des deux bras de la colonne *cg* et *ch* qui vont se fixer dans l'entablement au moyen de quatre écrous, que l'on règle la colonne, en raccourcissant ou rallongeant à volonté l'un ou l'autre de ces bras.

40°. Quand toutes les pièces du parallélogramme sont ainsi parfaitement réglées, et les deux tiges des pistons parallèles, il faut examiner avec un fil à plomb, si elles sont perpendiculaires; supposons qu'il n'en soit pas ainsi, et qu'elles penchent, par exemple, du côté de la colonne: il faut les faire rentrer en ramenant la colonne et tout le parallélogramme, au moyen des bras *cg* et *ch* de la colonne, desserrant par conséquent les écrous qui sont du côté des cylindres, et serrant derrière l'entablement ceux qui sont placés du côté de la roue de volée.

Après avoir ainsi réglé la marche de la tête du grand piston, celle de la tête du petit piston se détermine facilement. Il suffit de savoir pour cela que l'axe *h* (fig. 6) de ce dernier, ou mieux de son arbre, comme aussi celui *g* du condenseur, doivent être placés exactement sur une ligne droite, qui va de l'axe *e* de l'arbre du grand piston, à l'axe de rotation *g* du balancier. Il faut alors remonter ou descendre l'arbre du petit piston, s'il n'est pas rigoureusement sur cette ligne, en chargeant ou limant les grains de cuivre de ses bras, ce que l'on vérifie en tendant un fil de l'un à l'autre de ces axes.

Il en est de même de l'arbre *g* du condenseur, qui se trouve sur la même ligne et se règle par le même procédé. Cependant il y a moins de danger à laisser une légère erreur dans

le règlement de cet arbre, parce que sa triangle a une grande longueur et des articulations qui lui donnent assez de jeu, pour qu'il n'y puisse jamais arriver d'accident.

405. Quand les tiges des pistons sont ainsi parfaitement perpendiculaires et parallèles ; quand la course des bras de rappel et celle de la tête du grand piston sont coupées exactement en deux parties égales par la ligne horizontale *ab*, qui passe par l'axe de la traverse de la colonne ; quand la traverse de la colonne et les divers bras du balancier sont placés d'équerre sur l'axe de la machine ; quand les arbres des deux pistons et du condenseur ont leurs axes sur une ligne qui va de celui du grand piston à l'axe de rotation du balancier ; et quand de plus les deux cylindres sont verticaux et parallèles entre eux, on peut être sûr que le parallélogramme est bien réglé, et que les tiges de piston descendront verticalement.

406. *Le régler au bas de la course.* En tout cas, les manufacturiers ou les chauffeurs qui hésiteraient, dans quelques unes de ces vérifications, agiront toujours prudemment, en réglant le parallélogramme au bas de sa course, au moins pour ce qui concerne l'écartement des tiges de piston ; parce que celles-ci ont par elles-mêmes assez de flexibilité pour se plier sans un grave inconvénient, dans le cas où elles seraient légèrement forcées au haut de leur course, tandis que, si elles sont gênées au bas de leur course, maintenues de force par les boîtes à étoupes, il faut nécessairement que les bras du chariot se brisent.

Lorsque cet accident arrive, on voit quelquefois une des parties de ces bras devenue libre par une de ses extrémités, venir frapper perpendiculairement le plat-au du cylindre et assez violemment pour occasionner la fracture du balancier. Il est donc prudent d'attacher ces bras au balancier au moyen de petites chaînes, pour retenir, au besoin, leurs extrémités qui viendraient à se briser.

BIELLE ET MANIVELLE.

407. *Des grains de la bielle.* L'effort considérable et continu que supportent les grains de la bielle, dans le changement de direction de tout le mouvement de la machine, les expose à être fréquemment usés, si l'on oublie de les graisser régulièrement, et de déboucher avec soin les lumières, qui se remplissent promptement de cambouis. Il est donc indispensable d'en avoir toujours un de rechange en magasin : On s'aperçoit facilement du jeu que prennent les tourillons de la boule du balancier dans les grains de cuivre de la tête de la bielle, lorsque la machine donne un choc au passage supérieur de la manivelle, quoique ce choc puisse encore avoir pour cause un jeu dans les boules du balancier, ou dans les bras du parallélogramme. Si les grains de la tête de la bielle ne sont ni usés ni attaqués, il suffit de resserrer les clavettes *b* (pl. 4 ; fig. 4) ; mais s'ils le sont, ce que l'on reconnaît à la poussière de cuivre limé qui en tombe, et encore mieux à la forte chaleur qui se dégage, il faut arrêter la machine de suite, enlever les grains de cuivre, les refroidir, ainsi que la bielle, avec de l'eau fraîche, les nettoyer et les graisser comme les tourillons ; et si le cuivre est assez usé pour que la clavette ne puisse plus serrer, mettre sous le grain une épaisseur en cuivre, ou le recharger.

408. *Grains qui tournent.* On voit aussi les grains supérieurs de la tête de la bielle se déranger de leur place, parce qu'ils sont ordinairement ronds, et que, rien ne les retenant, ils glissent de côté ; de sorte que, la lumière des grains ne correspondant plus à celle de la frette, l'huile n'y pénètre pas, le grain se lime et s'échauffe. Il suffit alors, pour prévenir tout nouvel accident de ce genre, de fixer le grain de cuivre, en y ajustant une petite clef qui l'empêche de tourner dans sa frette.

409. *Des grains de la manivelle.* Le grain *a* (fig. 2) de la manivelle, dans lequel s'opère la transformation du mouvement de va-et-vient en mouvement circulaire, et qui fatigue par conséquent beaucoup, est encore plus exposé à se limer et à s'échauffer que ceux de la bielle. Aussi, doit-on avoir le plus grand soin de le graisser, toutes les douze heures, à fond, avec de bon suif, et mieux avec de la graisse animale, mêlée de plombagine, ou de talc passé au tamis de soie. Le remède à apporter, lorsqu'il s'échauffe, est le même que celui indiqué ci-dessus : nettoyer le grain et le prisonnier *b*, les arroser d'eau froide et les graisser. Mais, comme le cuivre frotte ici contre du fer, il s'y attache en s'échauffant, et le pénètre de telle sorte qu'on ne peut l'enlever qu'avec la lime, ou mieux en remettant le prisonnier *b* sur le tour. Cette opération est absolument nécessaire; car, lorsque le fer du prisonnier est ainsi combiné avec le cuivre, par le frottement et la chaleur, il s'échauffe constamment avec la plus grande facilité, et renouvelle à chaque instant le même accident, ce que l'on ne peut éviter qu'en enlevant tout le cuivre et en mettant le fer à nu.

Lorsque les grains de cuivre de la manivelle viennent à s'user, et que la clavette ne suffit plus pour les serrer exactement sur le prisonnier, celui-ci, en jouant dans les grains, donne un choc à chaque passage inférieur de la manivelle : il en est de même quand la clavette *c*, n'étant pas assez ouverte, vient à se desserrer. Dans ce dernier cas, un coup de maillet donné en marchant suffit pour arrêter le choc. Mais si les grains sont usés, et ne peuvent plus se serrer, soit parce qu'ils se touchent entre eux, soit parce qu'ils sont trop minces, et que la clavette tout à fait à fond ne les presse plus, il faut buriner et limer le haut des grains pour leur permettre de se rapprocher; et mettre une épaisseur en cuivre ou en fer entre le grain et la clavette: ou mieux encore

recharger, comme nous le dirons plus loin, le grain ou la contre-clavette *d*; les épaisseurs peuvent se déranger.

RÉGULATEURS.

410. Nous prions nos lecteurs de remarquer que les articles qui suivent, sur les boîtes et les régulateurs des machines à deux cylindres de la construction de Hall, sont conservés de la première édition, bien que très-peu de machines aient encore des régulateurs de ce système. Mais on y trouvera des détails de soins et de mesures qui s'appliquent au système de tiroirs aujourd'hui adopté, et dont nous donnerons ensuite le règlement. Notre ouvrage en sera plus complet.

411. *Des boîtes à vapeur et soupapes à moyenne pression.* Avant d'exposer la manière de régler les soupapes des machines à moyenne pression à deux cylindres, et en premier lieu, celles de la construction de Hall, il sera nécessaire d'indiquer les précautions à prendre pour poser les boîtes à vapeur, parce que l'on est souvent forcé, par divers accidents, à démonter ces boîtes, et qu'il faut les replacer avec la plus grande exactitude. Les *fig. 5, 7, 8, 9, pl. 6*, en donnent le tracé:

412: *Pose des boîtes à vapeur; de leur perpendicularité.* On les met d'abord à leur place; en les fixant par leurs boulons, mais en laissant du jeu, de manière à les pouvoir faire varier de position: puis on en place une bien perpendiculairement, ce qui s'obtient en faisant tomber un fil à plomb, à travers l'ouverture des soupapes, et s'assurant, avec un compas, que ce fil passe exactement au centre de la boîte, en haut et en bas, suivant la ligne *ab* et *cd* (*fig. 5 et 9*); on fait marcher les écrous des boulons, jusqu'à ce que l'on ait atteint rigoureusement cette perpendicularité.

413. *De l'écartement des boîtes.* Quand la première boîte est ainsi arrêtée d'une manière fixe, on règle la position de la seconde, en faisant attention que l'écartement de ces boîtes entre les deux petits paliers *e* et *f*, dans lesquels passent les tringles *gg* de l'excentrique *h*, doit être égal à la longueur de la traverse *i* du chariot de l'excentrique qui porte les pieds de ces tringles, et à la longueur des deux bras ou manivelles, *l* et *m*, des soupapes qui en réunissent les sommets.

414. *Des tuyaux de communication.* En plaçant les boîtes, on a soin d'y ajuster préalablement les deux tuyaux *nn*, qui servent de communication entre elles, et qui ne pourraient plus ensuite entrer dans leurs boîtes à étoupes, où ils ont cependant assez de jeu pour pouvoir varier au besoin l'écartement des boîtes. Ces tuyaux étant mis en place; et l'écartement et la verticalité des deux boîtes étant parfaitement vérifiés, afin que les soupapes montent et descendent perpendiculairement, sans quoi elles s'useraient plus d'un côté que de l'autre, on serre définitivement les boulons des boîtes, pour joindre les lèvres *oo* (fig. 7 et 8), réservées autour des trous à vapeur *pq*, etc., qui établissent la communication des boîtes avec la chemise et les cylindres. Ces lèvres doivent être burinées et dressées avec soin.

415. On ne doit pas oublier, en posant la boîte du petit cylindre, d'ajuster un bout de tuyau en cuivre *r*, dans le conduit d'apport de la vapeur *s*, et dans l'ouverture correspondante de la boîte. Ce dez permet de serrer très-fortement le mastic autour de cette ouverture, pour empêcher toute communication de la vapeur d'une ouverture à l'autre, sans avoir à craindre de boucher le trou même. L'espace *u* qui reste entre la boîte et le rebord de fonte des cylindres, quand les boulons sont serrés, ne doit pas avoir plus de 12 à 15 millimètres de largeur; parce qu'autrement le mastic de fonte ne s'y comprime pas également sous le marteau, où il faut em-

ployer plus de précautions encore, et des mattoirs très-épais, car il cède des deux côtés et ne durcit pas.

416. *Masticage des boîtes.* Le masticage se fait au mastic de fonte. Pour l'opérer, on commence par fermer deux côtés de l'espace à remplir avec deux petites planchettes; puis on le remplit de mastic de fonte employé par petites parties et successivement, frappé fortement et longtemps avec un mattoir de fer, jusqu'à ce qu'il refuse de se serrer davantage, et résiste aux coups de marteaux comme de la fonte. Toutes les parties qui enveloppent les conduits de la vapeur, et surtout les espaces qui les séparent, doivent être mastiqués, les premiers, et avec un soin et une patience extrêmes, parce que les fuites y sont plus à craindre que partout ailleurs.

417. *Boîtes dressées et rodées.* La meilleure disposition de boîtes, pour éviter les difficultés qu'entraînent ces masticages, de fonte, est d'ajuster les deux surfaces à la machine à dresser, de les roder l'une sur l'autre, et de les enduire d'une légère couche de mastic. Les fuites sont beaucoup moins à craindre.

418. *Du passage de la vapeur à travers le masticage de la boîte du petit cylindre.* Quelquefois, en effet, une communication directe s'établit entre le conduit d'apport *s*, et l'un des conduits *pg* du petit cylindre, de sorte que cette vapeur passe directement de la chemise dans le cylindre, sans traverser la boîte, et que, par conséquent, elle agit toujours du même côté du piston, alternativement en l'aidant et en s'opposant à sa course. On peut découvrir ce défaut en fermant le robinet régulateur, ouvrant celui du plateau du petit cylindre, et mettant le piston en haut, puis en bas de sa course. Il est facile de voir si, dans une de ces deux positions, il y a dégagement de vapeur dans le cylindre, quoique le robinet régulateur soit fermé; si cependant ce robinet régulateur était déjà mangé par la vapeur et ne fermait pas bien le conduit d'apport, il laisserait aussi passer la vapeur dans les cylindres, ce

qui pourrait induire en erreur. Au reste, on reconnaîtra beaucoup plus sûrement cette communication en démontant le petit piston. Le robinet régulateur étant bien rôdé, si le masticage est bon, il ne doit pas passer de vapeur dans le petit cylindre; si, au contraire, le masticage a été mangé par la vapeur, elle sort par l'un des conduits, et quelquefois par les deux.

419. On reconnaît aussi ce passage de vapeur, en enlevant le plateau de la boîte du petit cylindre. On voit alors la vapeur sortir par une des ouvertures. Enfin, un autre signe auquel on peut reconnaître ce défaut, est *l'échauffement de l'un des tuyaux de communication* des boîtes, quoique le robinet d'introduction soit fermé: conséquence nécessaire du passage de la vapeur. Au reste, des phénomènes semblables se présenteraient, s'il existait un défaut de fonte dans les boîtes, par lequel pénétrât la vapeur avant son arrivée au robinet.

420. *Du passage de la vapeur à travers le masticage de la boîte du grand cylindre.* Il n'y a pas de moyen direct de reconnaître ce défaut dans la boîte du grand cylindre: cependant il serait bien plus dangereux pour la machine que dans l'autre; car la vapeur passerait directement au condenseur sans travailler, tandis que celle qui se perdrait dans le petit cylindre, viendrait encore travailler dans le grand; mais cet accident est plus rare, attendu que dans le corps de la boîte il n'existe que deux passages. Le seul signe caractéristique de cette maladie, est une plus grande consommation de vapeur, et un échauffement proportionnel du condenseur, sans qu'on en découvre la cause, soit dans le mauvais état de la machine, soit dans le règlement défectueux des soupapes, soit dans le mauvais état des pistons. Ainsi, quand après avoir vérifié suffisamment toutes les pièces d'une machine, on la voit encore consommer une quantité extraordinaire de combustible, il ne faut pas hésiter à recommencer avec beaucoup de

soin le masticage de la boîte du grand cylindre ; il sera même presque toujours possible de découvrir les traces que la vapeur a laissées sur son passage en enlevant l'ancien mastic. Si, dans cette incertitude, on négligeait de tenter ce raccommodage, qui, quand il serait inutile, n'est ni long ni difficile, on s'exposerait à perdre indéfiniment la plus grande partie de la force de la machine. Plusieurs exemples l'ont prouvé. On corrige de même les fuites de la boîte du petit cylindre, en faisant le masticage à neuf.

421. Dans tous les cas de ce genre, le manufacturier qui surveille de près la marche de sa machine, et qui sait à quelle pression elle doit enlever sa charge, quand elle est en bon état, et le chauffeur intelligent qui la conduit, doivent s'en apercevoir immédiatement à l'excès de consommation de la houille, à la fatigue que la machine éprouve dans sa marche, à la tension supérieure à laquelle on est obligé de travailler avec une ouverture donnée de robinet, et à l'élévation de température du condenseur : il ne faut qu'un œil exercé, pour voir si une machine marche légèrement et sans efforts, même à pleine charge, à moins que cette charge ne soit excessive.

422. *De l'entretien du robinet régulateur.* L'action de la vapeur sur le robinet régulateur (*fig. 3*), est assez vive et quoique fabriqué ordinairement en acier fondu, elle l'attaque et le ronge. Il faut de temps en temps le jimer à la lime douce et en long, ce qui vaut mieux que de l'user à l'émeri : puis le roder à sec pour voir les endroits où il porte ; le limer, l'essuyer et le roder de nouveau, jusqu'à ce qu'il porte partout : on le rôte alors définitivement à l'eau, et si l'opération a été bien faite, on peut être assuré qu'il ne perdra plus.

Le levier de ce robinet *a*, est quelquefois fixé sur un petit tourillon par une goupille qui, quoique en acier, est promptement coupée ; et comme le levier ne fait plus marcher le robi-

net, on est exposé à ne pouvoir plus le fermer, lorsque l'on veut arrêter tout à coup la machine, ce qui peut être très-dangereux. Un chauffeur qui est surpris par cet accident, doit ouvrir immédiatement le robinet des plateaux pour laisser l'air entrer dans les cylindres et le condenseur : la machine s'arrête immédiatement. Le levier du robinet doit être ajusté sur un carré *b* et fixé par un écrou *c*, que l'on dévisse et que l'on graisse de temps en temps, pour éviter qu'il ne se rouille, et ne devienne trop difficile à enlever.

423. On doit aussi démonter tous les quinze jours, l'écrou qui serre le robinet, et le graisser avec soin, autrement on serait exposé à ne pouvoir plus le détacher ; parce que la vapeur qui s'échappe toujours en petite quantité par ce robinet, rouille rapidement le fer des vis et de l'écrou. Si, après être resté longtemps en place, il était impossible de détacher cet écrou avec des clés, il faudrait le frotter quelques jours d'avance avec de l'huile bouillante, pour l'en pénétrer, et le chauffer fortement avec des pinces de fer rougies au feu, sans chauffer l'extrémité du robinet ; l'écrou se dilatant le premier, se détache alors de son pas de vis, et on l'enlève avec la plus grande facilité. Si l'on employait du feu au lieu de pinces rougies, on échaufferait en même temps le robinet et l'écrou, et l'on ne réussirait peut-être pas à détacher le dernier. Il est bon de donner à la tête *d* des robinets régulateurs, une forme carrée, au lieu de la tourner en poire, afin de pouvoir la tenir invariablement par cette extrémité, quand on veut desserrer les écrous.

424. Une partie des observations que nous faisons ici n'est pas directement applicable à toutes les machines, parce que leur construction varie suivant leur système, et que le mécanicien opère aussi divers changements de détail, dans les machines d'un même système. Mais, comme dans un traité d'hygiène ou de chirurgie, nous réunissons ensemble, autant

que notre expérience ou notre mémoire nous le permettent, toutes les circonstances les plus défavorables et les accidents les plus fâcheux, pour que chacun y puisse trouver les faits qui le regardent, et s'en servir au besoin.

425. *Tuyaux des boîtes.* Le masticage des tuyaux *nn* des boîtes, est assez difficile à cause de leur position. Les vis doivent être graissées et serrées avec précaution. On emploiera les mêmes soins en les dévissant; si elles sont rouillées dans la fonte, elles cassent souvent, et il en reste la moitié engagée dans le taraudage. Il faut alors forer un trou plus large, le tarauder et y mettre une nouvelle vis plus forte que la première; nous conseillerons aux constructeurs de faire ces vis en acier non trempé. C'est souvent par le masticage de ces tuyaux, que l'air pénètre dans les boîtes; aussi ne saurait-on serrer trop fortement l'étaupe pénétrée de mastie rouge, dont on remplit leurs boîtes, et en mastiquer trop soigneusement les plateaux.

En général, lorsque l'on voit le condenseur donner de l'air, on découvre facilement l'endroit par lequel il y entre, en promenant la flamme d'une lampe à tous les masticages et boîtes à étoupes, sous lesquels existe le vide, ou une faible tension, et particulièrement les tuyaux *nn* dont nous parlons, et celui *u*, qui conduit la vapeur du grand cylindre au condenseur.

Ce tuyau, quelque bien mastiqué qu'il soit, donne presque toujours de l'air par les joints, parce que le vide y existe toujours.

426. *De l'entretien de l'excentrique.* Les soins à donner à l'excentrique et à son engrenage, rentrent dans les soins journaliers que réclame la machine: un graissage régulier et un bon nettoyage. Celui-ci est surtout nécessaire à l'excentrique, que l'on place trop souvent sous le plancher, dans un trou

étroit, où la graisse et la poussière s'amassent rapidement ; sans ces précautions, l'excentrique est exposé à s'user promptement, ce qui diminue la course des soupapes, et déränge la marche de la machine ; lorsque, soit par négligence, soit par un long travail, l'excentrique est ainsi diminué de 3 ou 4 millimètres seulement, il faut le remplacer, avoir soin d'employer, à cet objet, l'acier fondu de la meilleure qualité, et de le tremper très-dur.

Les plaques d'acier qui sont fixées sur le chariot de l'excentrique, doivent aussi être renouvelées avec les mêmes soins, quand elles commencent à s'user.

427. *Du masticage des plateaux des boîtes.* Lorsque la machine est montée, que l'excentrique *h*, les soupapes et l'arbre *v*, qui les commandent, ont été mis en place, leurs distances et leurs positions vérifiées avec la plus grande attention, on doit s'assurer que les tringles *gg* de l'excentrique sont parfaitement verticales ; que les tiges *x* et *y*, des soupapes des deux boîtes, passent exactement au milieu des anneaux des manivelles *l* et *m*, qui les commandent, de manière à monter librement et sans aucun faux tirage. Lorsque l'on a vu que les ressorts d'acier *z* des soupapes du grand cylindre sont bien trempés, et ne se briseront cependant pas en marchant, et qu'enfin toutes les soupapes ont été mises en place, et toutes les pièces nettoyées avec soin, on mastique les plateaux des boîtes. Nous observerons ici que l'on doit commencer par mastiquer le plateau supérieur de la boîte du petit cylindre, attendu qu'il existe dans cette boîte une douille en cuivre *aa* (fig. 6), dans laquelle passe la soupape ; que cette douille est simplement ajustée à frottement dans la fonte, sans y être fixée, afin que l'on puisse l'enlever, et la renouveler lorsqu'elle vient à s'user, et que les soupapes à tiroir cylindrique *g* jouent trop librement. Car, si l'on serrait le plateau inférieur le premier, la douille qui est entrée par le haut de la

boîte, pourrait sortir d'une petite quantité : tandis qu'en serrant le plateau supérieur le premier, elle ne peut pas échapper de sa position ; avant de mastiquer le plateau inférieur, on fait entrer dans la boîte le tiroir d'acier x , dont la tige sort par la boîte à étoupes du plateau supérieur. Quant aux soupapes coniques a' b' du grand cylindre, on les fait entrer dans la boîte, l'une par le haut et l'autre par le bas, et l'on mastique les plateaux ; puis on visse sur la soupape supérieure la traverse en cuivre, et l'on place les ressorts.

428. *Soupapes coniques.* Il est de la plus haute importance de serrer très-fortement l'écrou e' qui retient la douille de fer d' de la soupape supérieure a' dans la traverse de cuivre e' . Pour plus de sûreté, on doit placer sur cet écrou un contre-écrou qui le maintient plus solidement, et il faut, malgré cette précaution, examiner, de temps en temps, si l'on ne voit pas le pas de vis se découvrir au-dessous de la douille de cuivre e' , ce qui prouverait que la vis et le contre-écrou e' sont desserrés.

La même attention doit être donnée aux écrous qui retiennent les soupapes coniques a' b' sur leur tige. Il faut refouler l'extrémité de la vis par quelques coups de marteau, pour la river, et arrêter invariablement ces écrous. Si, en effet, une des soupapes venait à s'échapper, il pourrait en résulter les plus grands accidents ; la soupape inférieure b' y est plus exposée que l'autre. Lorsque cela arrive, n'étant plus enlevée par les ressorts $z z$, qui poussent sa tige en haut, quelques instants avant que les pistons ne remontent (puisque nous supposons l'écrou tombé), la vapeur qui arrive sous la soupape b' , pour agir sous ce piston, passe en partie par le trou que la soupape laisse encore ouvert, et rencontre la vapeur qui, après avoir travaillé sur le piston, se rend au condenseur : il se produit ainsi un choc violent, qui ébranle toute la machine, et peut en briser quelques pièces ; sans parler de

la perte de la vapeur envoyée directement au condenseur. Quelques instants après le choc, la vapeur du petit cylindre, qui arrive en quantité considérable, suffit pour soulever cette soupape inférieure, et la fermer : alors le cours ordinaire de la machine se rétablit. Le piston, que l'effet opposé de la vapeur, et plus encore le passage au condenseur de la majeure partie de celle qui arrivait, avait ralenti fortement, au commencement de sa course ascendante, reprend sa vitesse ; le même choc, le même ralentissement, la même accélération se reproduisent à chaque course du piston.

429. *Signes auxquels on reconnaît que la soupape conique inférieure est détachée.* Quand on verra une machine donner au commencement de sa course ascendante, un choc violent, se relever avec effort et lenteur, puis reprendre à peu près sa vitesse à chaque coup de piston, on peut être certain que la soupape inférieure de la boîte du grand cylindre est détachée. C'est le seul accident qui produise ces phénomènes.

430. *Soupape supérieure.* Si la soupape supérieure se détache, la vapeur qui vient agir sur le piston ne peut pas passer directement au condenseur, puisque la soupape se ferme par son poids seul ; mais celle qui doit se rendre au condenseur, trouvant le passage fermé, résiste à l'action de la vapeur opposée, et se comprime avec un choc, jusqu'à ce qu'après une ou deux courses, elle ait acquis une tension telle, qu'en raison de la surface du grand piston, elle arrête la machine.

431. *Du règlement des soupapes.* Lorsque toutes les pièces qui composent les soupapes sont ainsi mises en place et solidement assurées, quand on a posé l'excentrique *h* et ses deux tringles *gg*, on doit s'occuper de régler les soupapes ; opération facile, mais qui exige la plus minutieuse exactitude, et qui exerce la plus grande influence sur la marche de la machine. Voici la méthode pratique la plus simple pour régler

les soupapes des machines de Woolf, dont nous avons déjà parlé.

La première opération à faire est de donner à l'excentrique *A* une position telle, qu'il puisse soulever la soupape quelques instants avant que le piston ne commence sa course. On sait, en effet, que si les soupapes ne marchaient qu'au moment même où la course est terminée, il y aurait un moment d'hésitation dans la machine, parce que, quelque vitesse qu'ait la vapeur, il faut toujours un instant appréciable, pour que les soupapes s'ouvrent et lui livrent passage. Il est en même temps évident que si, au contraire, les soupapes ne se soulevaient que quelques instants après que la course serait terminée, si, en un mot, elles étaient en retard, il y aurait un retard dans la machine, et même un choc, parce que la vitesse acquise du volant ferait, par exemple, redescendre le piston pendant que la vapeur agirait encore par dessous. Au moyen de cette avance, la vapeur arrive aussi derrière le piston au moment où il achève sa course, et y faisant ressort par le refoulement qu'elle éprouve, elle le renvoie et facilite beaucoup son passage. Il est donc utile de mettre les soupapes en avance d'une petite quantité.

452. Lorsque la machine tourne en dedans, c'est-à-dire lorsque la manivelle *g'* (*fig. 5*), remonte du côté des cylindres, dans le sens indiqué par la flèche, marche la plus généralement adoptée, quoique nous n'ayons trouvé aucun inconvénient au mouvement contraire, quand la nécessité l'exige, et que la manivelle nous ait paru passer aussi facilement dans un sens que dans l'autre; lorsque, disons-nous, la manivelle remonte en dedans, on la place horizontalement en *g'*, c'est-à-dire à moitié de sa course en remontant, puis dégagant l'arbre *v* de l'excentrique *h*, de l'engrenage *h'*, qui est fixé sur l'arbre *v'* du volant (*fig. 1^{re} et 5*), on ajuste l'excentrique de manière qu'il soit exactement au bas de sa course (*fig. 2, 4, 5*),

et que son centre de rotation $m'n'$ et sa pointe par conséquent soient en haut. Dans cette position, il est prêt à faire marcher les soupapes, au moment même où les pistons commencent à changer de mouvement. Il ne doit commencer à mouvoir son chariot o' qu'au moment où les pistons changeront de mouvement, c'est-à-dire recommenceront à monter. Nous avons dit que l'excentrique doit être en avance, afin que les soupapes puissent s'ouvrir un instant avant le changement de course des pistons : cette avance, en admettant que les engrenages $h'p'$, qui le commandent, aient 30 ou 32 dents, doit être de deux dents environ.

433. La position de la manivelle et de l'excentrique étant ainsi déterminée, on marque avec de la craie, sur les deux engrenages, deux dents $q'r'$, qui se correspondent : puis on enlève l'arbre v de l'excentrique, et on le fait de nouveau engrener en le faisant marcher seul en avant dans le sens de son mouvement, de manière que la dent r' , marquée sur l'engrenage p' de l'excentrique, se trouve engrener avec la deuxième ou la troisième dent $s't$, à partir de la dent correspondante q' , qui est marquée sur l'engrenage h' de l'arbre h' du volant.

Il est d'autant plus important de poser ainsi l'excentrique en avance de quelques dents sur la manivelle, que l'on rend celle-ci horizontale pour régler l'excentrique au milieu de la course des pistons, et que cependant, la manivelle, dans cette position, n'est pas réellement au milieu de sa course. On voit, en effet (*fig. 1, pl. 4*), que, à cause de l'obliquité de la bielle, quand le balancier est au milieu de sa course, la position de la manivelle ab qui y correspond, se trouve être au-dessus de la ligne horizontale ac ; de sorte que les espaces parcourus par la manivelle, pendant chacune des deux moitiés de la course du balancier et du piston, ne sont pas égaux. La manivelle a donc moins de vitesse pendant sa course supérieure, que pendant sa course inférieure, si la durée de ces

deux courses est parfaitement égale ; mais cette différence est sensiblement corrigée par le volant.

L'excentrique doit donc nécessairement se trouver en avance de deux ou trois dents sur la manivelle ; c'est-à-dire que, quand la manivelle est à moitié de sa course, l'excentrique aura déjà dépassé cette moitié de 2 dents sur 30 ou 32, c'est-à-dire d'un quinzième ou d'un seizième environ.

434. *De l'avance du tiroir.* Les divers constructeurs varient sur l'utilité de cette avance. Il en est qui n'en donnent pas à leurs tiroirs. L'expérience cependant nous en a prouvé l'utilité. M. Guyonneau de Pambour, dans son *Traité des Locomotives*, a fait quelques expériences sur cette question ; mais elles n'ont eu qu'un but, celui de prouver que quand l'avance est trop considérable, la puissance de la machine se trouve réduite, parce que la portion de la course du piston, pendant laquelle la vapeur est admise à pleine pression, se trouve réduite, et que la vapeur, pendant la dernière partie de cette course, n'agit plus que par sa détente. Il a trouvé, par exemple, qu'avec 3 millimètres d'avance, la machine était beaucoup plus puissante qu'avec 16 millimètres ; mais il n'a pas résolu l'autre partie de la question, qui consiste à savoir s'il y a ou non utilité à donner de l'avance aux machines, dans quelle limite, et quels en sont les résultats réels.

L'une des locomotives du chemin de fer de Liverpool, *Vesta*, est disposée de manière que l'on peut, pendant la marche même de la machine, changer l'avance du tiroir, en changeant la position de l'excentrique par rapport aux tiroirs. Ces expériences sont donc faciles.

435. L'arbre de l'excentrique étant alors fixé sur ses coussinets, la manivelle étant toujours horizontale du côté où elle monte, et l'excentrique, comme nous l'avons dit, au bas de sa course, et un peu en avance, on met le tiroir, ou soupape cylindrique *x*, entièrement à fond dans la boîte du petit cylindre,

comme il est tracé (*fig. 3 et 9*), où la manivelle est horizontale en montant, l'excentrique et le tiroir au bas de leur course; on y met aussi la soupape conique supérieure (*mêmes figures*) de la boîte du grand cylindre; on abaisse la traverse de cuivre *u'* pour comprimer les ressorts *z*, et l'on serre fortement la vis de pression, de manière que la traverse *u'* ne glisse pas sur la tige *y* de la soupape inférieure *b'*, et qu'elle l'entraîne au contraire dans son mouvement. On doit abaisser cette traverse de cuivre jusqu'à ce que les ressorts d'acier aient assez de bande pour fermer vivement la soupape inférieure, ce dont on s'assure en pressant sur la traverse pour ouvrir la soupape, et l'abandonnant tout à coup à elle-même.

436. Cela fait, et toutes les soupapes étant ainsi fermées, on abaisse la grande manivelle *l* des soupapes au-dessous de la traverse de cuivre *e'*, qui repose sur la bague *v'* de cette manivelle; et cet abaissement doit être rigoureusement égal à la moitié de la course de l'excentrique. Si cette course est de 5 centim., comme dans les machines de 10 chevaux, on laisse 2 1/2 centim. de jeu entre la manivelle *l* et la traverse *e'*; on fixe alors cette manivelle aux tiges de l'excentrique par ses deux vis de pression pour l'empêcher de glisser.

Abaissant ensuite la petite manivelle *m* de 2 1/2 centim. c'est-à-dire d'une demi-course de l'excentrique, on force les ressorts *z* à se comprimer, et par conséquent la soupape inférieure *b'* à s'ouvrir d'une quantité égale. On mesurera facilement cet abaissement sur les tiges de fer ou porte-boudins autour desquels s'enroulent les ressorts *z*, au moyen d'un point de repère tracé sur cette tige avant de faire marcher la soupape. On fixe alors la petite manivelle *m* sur les tringles *gg* de l'excentrique, au moyen de ses vis de pression, au moment où, en forçant sur les ressorts, la soupape inférieure s'est, comme nous venons de le dire, ouverte de 2 1/2 centim. Ainsi, la soupape inférieure *b'* se trouve ouverte pour laisser

passer au condenseur la vapeur qui était sous le grand piston pendant qu'il descend, et la soupape supérieure a' se trouve fermée, pour interdire la route du condenseur à la vapeur qui, de dessous le petit piston, passe au-dessus du grand. Alors, comme le tiroir x est à fond, et qu'il doit monter immédiatement avec le chariot de l'excentrique, dès qu'il recommencera son mouvement, on fixe, sur la grande manivelle l des soupapes, par sa vis de pression, l'anneau supérieur h' qui doit soulever le tiroir, sans y laisser de jeu, parce que cet anneau ainsi fixé ne pourra jamais empêcher le tiroir de descendre à fond, puisqu'on l'y a préalablement mis.

437. On fait alors faire un demi-tour à la machine, et on place la manivelle g dans une position horizontale opposée à celle qu'elle occupait précédemment, c'est-à-dire au milieu de sa course descendante, comme elle est indiquée en lignes ponctuées (*fig. 5*) ; l'excentrique se trouve alors au haut de sa course, la pointe en bas ; sa position est ponctuée (*fig. 2 et 4*). La soupape supérieure a' est maintenant ouverte pour laisser passer au condenseur la vapeur qui a travaillé sur le grand piston ; la soupape inférieure b' est fermée. Le tiroir x , que nous avons d'abord placé au bas, doit se trouver au haut de sa course (*fig. 7*). On s'en assure à la main ; alors on fixe par sa vis de pression la bague inférieure z' sans aucun jeu, sous la grande manivelle, de manière que si les courses de l'excentrique et du tiroir ne sont pas parfaitement égales, le jeu nécessaire se trouve ainsi déterminé entre les deux bagues, sans que la manivelle puisse forcer sur le tiroir. Pour éviter le bruit que font les anneaux en jouant sur la grande manivelle des soupapes, on peut placer entre eux et la bague de la manivelle deux petites rondelles de cuir.

438. *Toutes les vis bien serrées.* Il faut avoir grand soin de serrer avec force toutes ces vis de pression, car on serait exposé à voir la grande manivelle glisser promptement sur ses

tringles, les soupapes se dérégler, et la marche de la machine s'altère complètement. En effet, la grande manivelle, entraînée par la résistance des soupapes qu'elle soulève à ses deux extrémités, glisse fréquemment sur les tringles de l'excentrique, de manière que la course de la soupape supérieure *a'* diminue, et que le tiroir *x*, gêné en montant; ne peut plus se fermer exactement, ce qui laisse passer la vapeur sous le piston pendant qu'il descend, et s'oppose à son mouvement. Il faut alors recommencer le réglage des soupapes par la même méthode; en ne retouchant qu'aux parties dérangées, ou au moins, si l'on ne veut pas arrêter immédiatement la machine pour cet objet, donner plus de jeu au tiroir cylindrique, en abaissant un peu la bague inférieure, de manière qu'il puisse se fermer librement.

439. *Nécessité d'un parfait réglage.* Nous ne saurions recommander trop fortement les soins à donner au réglage des soupapes. Une avance ou un retard trop grands dans l'excentrique, suffisent pour causer une erreur dans le réglage des soupapes, qui, se fermant quelquefois trop ou trop peu, entraîneraient inévitablement les plus grands dérangements dans la marche de la machine, y causeraient de grandes pertes de vapeur, et presque toujours des chocs violents, ou au moins des secousses qui, bien que légères, en se renouvelant à chaque course des pistons, la fatigueraient promptement et la détérioreraient. Aussi, quand le manufacturier et le chauffeur attentifs entendent leur machine donner des secousses dont ils ne trouvent pas immédiatement la cause, soit dans des clavettes desserrées, soit dans le parallélogramme, soit à la tête de la bielle, soit au prisonnier de la manivelle, ils doivent la chercher presque toujours dans un mauvais réglage des soupapes, et en vérifier de suite l'exactitude.

Quelquefois le bocal dans lequel glisse le tiroir cylindrique

laisse échapper la vapeur, et augmente la consommation du combustible: il faut le changer; ou bien l'une des soupapes de la grande boîte ne ferme pas le passage du condenseur, et enlève à la machine une partie de sa force et sa vitesse habituelle; on la rôte alors.

RÉGULATEURS A TIROIRS.

440. *Régulateur des machines à deux cylindres, d'Edwards.* Ce régulateur est très-simple et peu susceptible de dérangements. Il consiste, pour chacune des boîtes des deux cylindres, en un tiroir à coquille, en cuivre, *a* (pl. 7, fig. 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7), qui glisse sur une surface de fonte bien dressée *bb*, et ouvre ou ferme les trous à vapeur *c. d. e. f. g. h.* Un excentrique *a* (fig. 7), fixé sur l'arbre de la manivelle *b*, et marchant dans un chariot *e*, conduit ce tiroir au moyen d'un mouvement d'équerre *a b* (fig. 2), et des deux tringles des soupapes.

441. *De son règlement.* Rien de plus facile que la méthode à suivre pour régler ces soupapes. L'excentrique sort des ateliers fixé et ajusté sur l'arbre de la manivelle, de manière que, quand la machine est sur son centre, la manivelle étant en bas, l'excentrique se trouve au milieu de sa course, et son axe de rotation en bas (fig. 7). Il est ici ajusté pour une machine qui tourne en dedans, comme cela a lieu le plus fréquemment, c'est-à-dire que la manivelle monte du côté où les boîtes à vapeur sont placées par rapport à elle. Dans cette position, on règle les tringles *l* du mouvement d'équerre, de manière que le bras *k* de ce mouvement soit horizontal, et par conséquent au milieu de sa course.

En enlevant de dessus les tiroirs les deux coquilles extérieures *i i*, on amène, au moyen des écrous *k l*, les tiroirs *aa* des deux boîtes à couvrir exactement les six trous à vapeur

c. d. e. f. g. h. de ces boîtes. On voit dans les *fig. 3* et *6* les tiroirs de la grande et de la petite boîte réglés dans la position indiquée ci-dessus. On observera que ces tiroirs seront dans la même position quand la machine sera revenue sur son autre centre, la manivelle en haut; mais alors l'excentrique se trouvera le centre de rotation en haut et toujours au milieu, de sa course. Il serait donc aussi facile de les régler dans cette position que dans celle dont nous venons de parler.

Ces tiroirs sont exposés à basculer, quand leur point de suspension est en haut, et surtout quand par le frottement ils commencent à s'user, et en s'écartant du corps de la boîte, à laisser échapper de la vapeur. L'application d'un ressort derrière le tiroir prévient ces accidents. On n'oubliera pas non plus de donner à ces tiroirs un quinzième d'avance, comme dans les boîtes de Hall; le but et les résultats sont les mêmes. On mastique ensuite les coquilles par-dessus les tiroirs, et la machine se trouve réglée.

442. *Leurs qualités et leurs défauts.* La cause qui a fait adopter aujourd'hui ces boîtes fort simples dans presque toutes les machines à moyenne et à haute pression, c'est qu'elles ont l'avantage d'ouvrir rapidement de larges passages à la vapeur, bien que sous ce rapport il soit inférieur aux soupapes coniques. Son défaut principal est de donner des frottements très-lourds avec la vapeur à plusieurs atmosphères. En somme, ce sont de fort bonnes boîtes. Nous tenons cependant d'un manufacturier expérimenté que la substitution des boîtes à tiroir, aux boîtes de Hall, dont nous avons parlé plus haut, ne lui a donné aucune économie de combustible, ni aucun avantage de marche pour sa machine. Nous conseillerons toujours comme une mesure avantageuse, de donner aux passages de vapeur beaucoup de largeur, afin de réduire leur hauteur et de diminuer, autant qu'il est possible de le faire, la course des tiroirs.

443. *Des robinets distributeurs.* Il n'est pas inutile de dire un mot des robinets distributeurs, employés autrefois dans les machines d'Edwards à deux cylindres, avant l'adoption des iroirs dont nous venons de parler, parce qu'il peut exister des machines dans lesquelles ils travaillent encore, et que les machines oscillantes de M. Cavé en présentent d'analogues.

Le règlement des soupapes coniques de la grande boîte, employées communément avec le robinet distributeur (*pl. 7, fig. 9, 10, 11, 12, 13*), s'opère comme nous l'avons déjà dit pour celles de Hall : la manivelle étant horizontale en montant en dedans, l'excentrique légèrement en avance sur la manivelle, et de plus, au bas de sa course (*fig. 14*), et prêt à remonter, on ferme les deux soupapes *a* et *b* (*fig. 12*), puis on fait descendre la douille *c*, du grand bras *d* des soupapes (*fig. 11*) au-dessous de la traverse *ee* de la soupape supérieure d'une quantité égale à la moitié de la course de l'excentrique : on ouvre ensuite la soupape inférieure de la même quantité, en comprimant les ressorts d'acier, au moyen d'un petit bras *f*, et l'on fixe solidement les deux bras sur les tringles des soupapes, par leurs vis de pression. Quant au robinet distributeur *g* (*fig. 9, 10, 11, 12, 13*), lorsque les soupapes sont ainsi réglées, c'est-à-dire, que la soupape supérieure est fermée, la soupape inférieure ouverte, et la manivelle horizontale en remontant en dedans, il doit être placé de telle sorte, qu'il établisse la communication entre le robinet d'introduction *h* de la vapeur et le dessus du petit piston, par son trou *i* et le conduit *k*, et entre le dessous du petit piston et le dessus du grand, par son trou *l* et les conduits *m* et *n*, parce que les pistons sont occupés alors à descendre. La crémaillère *o* qui commande le robinet *g* doit se trouver au plus haut de sa course comme l'excentrique, et prête à redescendre et à faire tourner le robinet en sens contraire, dès que la manivelle et l'excentrique commenceront à descendre.

44. Régulateur des machines à basse pression dites de Watt et Boulton. Quant aux tiroirs des machines à basse pression, leur règlement ne présente aucune difficulté. Il suffit de savoir de quel côté doit tourner la manivelle; et ce côté est déterminé par la position de l'excentrique, sur l'arbre de la manivelle; on voit en effet (*pl. 8, fig. 3*), d'après la position de la manivelle *a* et du double tiroir *b c*, que les pistons descendent et la manivelle monte. Cette machine est donc réglée pour tourner en dehors, c'est-à-dire, pour que la manivelle remonte du côté opposé aux boîtes à vapeur. Pour qu'elle tournât en dedans, c'est-à-dire que la manivelle, dans la position où elle est tracée, fût au milieu de sa course descendante, il faudrait que l'excentrique *d*, au lieu d'être placé sur l'arbre, en opposition avec la manivelle, se trouvât du même côté qu'elle; car alors la manivelle restant toujours à la même place, le chariot *e* de l'excentrique se trouverait au bout de sa course, et les soupapes au bas de la leur; d'où il résulterait que les pistons monteraient, et la manivelle descendrait, ce qui est le contraire du règlement ici tracé. Quand on s'est bien rendu compte de cette disposition, ce règlement est très-simple. L'excentrique *d*, les longueurs du mouvement d'équerre *g h*, et par conséquent la course des soupapes, sont déterminées d'une manière fixe, en montant la machine dans l'atelier. La longueur seule du tirant *f* peut varier d'une petite quantité, au moyen des écrous *i k*, si cela est nécessaire dans le montage. Il suffit donc, quand ces mouvements sont posés, de mettre la manivelle horizontale en remontant, et même un peu en arrière de sa position horizontale, afin que l'excentrique et les soupapes aient une légère avance: alors on met *b c* au haut de la course, de manière à ouvrir d'un côté la communication entre le tuyau d'apport de la vapeur *l*, et le dessus du piston, par le conduit *m*, et de l'autre, entre le dessous du piston et le tuyau du condenseur *n*; par le

conduit 0 : la machine se trouve ainsi parfaitement réglée.

445. *De la détente.* Lorsque l'on introduit de la vapeur à quatre atmosphères dans un cylindre, pendant la course entière du piston, elle conserve pendant tout ce travail la même tension, qui est à peu de chose près égale à celle du générateur.

Si, au contraire, quand le piston est arrivé à moitié de sa course, on ferme l'entrée à la vapeur du générateur, le piston continue sa course, poussé par la vapeur qui se détend en occupant un volume plus grand, mais dont la pression est encore supérieure à celle que nous supposons agir de l'autre côté du piston; et, quand celui-ci est au bout de sa course, le volume occupé par la vapeur est *double de son volume primitif*, mais en même temps sa tension est devenue *deux fois moindre*. En termes généraux, la vapeur qui se détend, pour occuper un volume plus grand, diminue par degrés de tension, en raison inverse du volume qu'elle prend successivement; en poussant ainsi le piston devant elle, avec une certaine pression qui décroît, mais facile à déterminer, la vapeur développe un *travail mécanique*, donne un *effet utile*, qui se transmet au volant.

446. *Travail de la détente.* On trouve bien vite, par l'expérience et le calcul, que le travail développé ainsi pendant la seconde moitié de la course, par la vapeur qui se détend et diminue de tension, n'est pas aussi grand que le travail développé par cette même vapeur avec toute sa pression primitive, pendant la première moitié : il est à peu près les trois quarts de ce travail. Mais comme c'est la même quantité de vapeur qui travaille une *seconde fois*, il est évident qu'il y a un bénéfice considérable à faire détendre la vapeur, et à la faire ainsi travailler deux fois.

Dans les machines à basse ou à haute pression, on applique

avec un égal avantage le principe de la détente. On admet la vapeur à la pression du générateur, pendant un quart, un tiers, ou plus, de la course du piston, puis on intercepte son passage, et on la laisse agir sur le piston, en se détendant de quatre, trois ou deux fois son volume, au moins. (Nous donnerons, plus loin, les moyens d'apprécier cette puissance.)

447. *Détente dans les machines de Woolf.* Le mode adopté dans les machines à deux cylindres de Woolf, consiste à employer la vapeur à trois ou quatre atmosphères, sans détente, dans un petit cylindre, puis à la faire passer dans un cylindre plus grand, où elle agit sur un second piston, en se détendant à quatre fois son volume primitif. — Dans les machines à un seul cylindre, l'appareil employé pour régler cette détente consiste en un robinet ou une glissière, placé *avant le régulateur*, et qui est disposé de manière à intercepter la communication entre le générateur et la boîte de distribution, au point voulu ; c'est-à-dire, à moitié ou au tiers de la course, etc. Ces robinets ou tiroirs sont conduits par l'arbre du volant, comme les tiroirs de distribution.

448. *Variations de la détente* On comprendra sans peine, qu'en faisant varier la détente, on fait varier la force de la machine ; et si on la supprimait complètement, en laissant arriver la vapeur avec toute la pression pour laquelle la machine est construite, pendant la course entière, on donnerait à cette machine toute la force dont elle est susceptible. On emploie quelquefois ce moyen pour changer la puissance d'une machine, dans les ateliers où la quantité de travail varie fréquemment ; on fait pour cela varier le règlement du tiroir de détente.

449. *Détente réglée par le modérateur.* Quelques constructeurs même ont pensé qu'il serait possible de faire varier cette détente, et de régler ainsi la puissance de la machine, pen-

dant son travail, et en raison de ce travail, en liant au *modérateur* l'appareil destiné à régler la détente, de manière à l'augmenter quand le modérateur se ralentit, et à la diminuer quand il prend trop de vitesse.

Mais ces dispositions n'ont jamais donné de bons résultats; les amplitudes de règlement du modérateur, sont toujours trop faibles pour servir de guide à une détente, qui varie dans de très-grandes limites; on donne ainsi une irrégularité fâcheuse à la machine, sans obtenir aucun résultat. C'est par la pression de la vapeur dans la chaudière, que l'on fait varier le plus avantageusement la puissance d'une machine, quand celle de la résistance varie aussi.

450. *Détente de J.-F. Saulnier*: Nous donnerons comme exemple, le tracé et le règlement de la détente des machines de M. J.-F. Saulnier. Ceux qui les ont employées savent combien les dispositions en sont bonnes.

M. Saulnier a voulu conserver au tiroir de distribution, le mouvement doux et régulier de l'excentrique circulaire; et il a appliqué le même mode de mouvement à la commande du tiroir de détente, qu'il a placé devant celui de distribution, pour intercepter la vapeur au point voulu. (On trouvera, *pl. 14, fig. 1, 2, 3*, les détails de ces tiroirs.)

Sur l'arbre *a* du volant est un engrenage *b* qui en conduit un second *c* de pareil diamètre. Celui-ci porte une manivelle qui commande le tiroir de distribution *d*. Vient ensuite un troisième engrenage *e*, dont le nombre de dents est moitié de celui qui précède. Celui-ci porte la manivelle qui commande le tiroir de détente *f*, de sorte que cette manivelle fait deux révolutions pendant que celle de la distribution n'en fait qu'une seule; la détente agit donc une fois complètement pendant chaque demi-course du piston.

451. Pour que l'on puisse faire varier la détente, et que le tiroir de la détente s'ouvre subitement, M. Saulnier lui fait

parcourir une longueur plus grande que l'ouverture qu'il ferme; il a donné beaucoup de largeur et peu de hauteur à cette ouverture. On a tracé (fig. 3) les positions successives que prennent simultanément, 1° la manivelle du tiroir de détente; 2° celle du tiroir de distribution; 3° les deux tiroirs; 4° le piston. En partageant cette course en huit parties égales, on voit que pour un huitième de révolution de la manivelle de détente, celle de distribution ne fait que le seizième d'une révolution;

Que, lorsque le piston est arrivé au milieu de sa course, la vapeur du générateur est complètement interceptée par le tiroir de détente;

Qu'enfin la vapeur se détend successivement pendant la seconde moitié de la course, ce qui est indiqué par la dégradation proportionnelle de la teinte dans le cylindre et dans les boîtes.

452. *Règlements des tiroirs de J.-F. Saulnier.* On voit aussi que, pour régler le plus facilement ces tiroirs, il faut le faire dans la position indiquée au premier temps, les deux manivelles étant horizontales du même côté; dans cette position les deux tiroirs doivent être fermés exactement, et au milieu de leur course.

453. *Avance à donner.* Si l'on veut avec ces dispositions, retarder la détente, c'est-à-dire admettre la vapeur à pleine pression pendant un temps plus long, on met les manivelles à la position du premier temps, on marque avec de la craie, les deux dents qui se rencontrent à l'horizontale dans les deux engrenages à manivelle: puis on démonte celui de la détente, et on le fait reculer sur le sens du mouvement; c'est-à-dire qu'on le remet en place, en faisant engrener la dent marquée à l'engrenage de distribution avec une, deux ou trois dents plus en avant de celui de détente. Dans cette position, la dent marquée à l'engrenage de détente se trouvera plus haut que

celle de la distribution ; le tiroir de distribution sera resté fixe ; celui de détente aura baissé : par conséquent , il viendra *plus tard* fermer complètement le passage, par conséquent la détente sera moindre.

On ferait le contraire, c'est-à-dire qu'on avancerait d'une quantité déterminée l'engrenage de détente, si on voulait augmenter celle-ci ; en comptant le nombre de dents de cet engrenage , on saura dans quelle proportion on l'augmentera ou on la diminuera.

454. *Ce procédé s'applique à toutes les machines.* Quelque disposition de machine que l'on rencontre , si l'on a bien compris les appareils et la méthode que nous venons de donner , on ne trouvera pas de difficultés à en régler la distribution de vapeur. (Note 1.)

CONDENSEUR.

455. *Des cas dans lesquels le condenseur peut puiser directement l'eau du puits.* Il est deux manières de disposer les condenseurs des machines à vapeur : tantôt ils tirent directement l'eau du puits , au moyen d'un tuyau de cuivre ou de plomb , que nous avons ponctué, (*pl. 3, fig. 4.*) en *a*. Tantôt ils la puisent dans une bache *e* au milieu de laquelle ils sont plongés , et où une pompe de puits verse constamment un courant d'eau froide. Il ne faut employer la première méthode que pour puiser l'eau à une petite profondeur : sans quoi le condenseur serait exposé à de fréquents accidents , et l'on doit toujours le placer dans une bache remplie d'eau , pour éviter qu'il n'aspire de l'air par les masticages de ses tuyaux. Aussitôt que la profondeur à laquelle il faut aller prendre l'eau dépasse six à sept mètres, depuis le robinet *c* du condenseur jusqu'au niveau où le puits reste constamment quand la machine tra-

vaille, le condenseur est exposé à s'échauffer très-fréquemment : parce que, quand la température de l'eau s'y élève de quelques degrés de plus qu'à l'ordinaire, la vapeur y conserve une tension trop forte, et le vide ne s'y produit plus assez complètement, pour aspirer une colonne d'eau aussi longue.

Au-delà de 6 mètres, on devra donc placer constamment une pompe de puits, pour alimenter la bâche. Au-dessous de 6 mètres, il vaut mieux puiser l'eau directement, au moyen d'un tuyau large et soigneusement mastiqué au condenseur.

456. *Tension de l'air et de la vapeur dans le condenseur.* Si, par exemple, la colonne d'eau à élever du niveau du puits jusqu'au condenseur a 8 mètres de longueur, et que la température du condenseur soit égale à 30° centigrades, la vapeur à cette température peut soutenir une colonne d'eau de 4 décimètres, qui, ajoutée aux 8 mètres, font 8 mètres 40 centimètres. Or, comme le poids total de l'air qui fait monter l'eau dans les pompes, est égal à une colonne d'eau de 10 m. 40, il est clair que l'eau montera dans le condenseur, puisqu'il y a 2 m. de différence entre les longueurs de la colonne d'eau que l'air peut soutenir, et de celle qu'il soulève ici, quoiqu'il y ait toujours dans les condenseurs une certaine quantité d'air qui ajoute sa tension à celle de la vapeur, et diminue par conséquent la hauteur à laquelle l'eau peut monter. Supposons la tension de cet air égale au poids d'une colonne d'eau de 0 m. 65 qui, avec les 8 m. 40 font 9 m. 05 pour le poids de la colonne d'eau à soulever. Si maintenant la température du condenseur s'élevait à 50°, la tension de la vapeur à 50°, est égale au poids d'une colonne d'eau de 1 mètre 20 environ ; en ajoutant ces 1 m. 20 aux 8 m. 40 de colonne d'eau à élever et aux 0 m. 65 qui représentent la tension de l'air, sans tenir même compte de l'augmentation que cette tension a subie par l'élévation de la température, on trouve que la hauteur de la

colonne d'eau à soulever, est maintenant égale à 10 m. 25. D'où il suit que le poids de la colonne d'air extérieur égale à 10 m. 40, qui doit vaincre, outre le poids d'une colonne d'eau de 10 m. 25, tous les frottements de l'eau dans les tuyaux, n'est plus assez fort pour la faire monter. La différence serait bien plus grande encore, si l'on examinait ce qui se passe dans un condenseur semblable, quand la machine vient à prendre de l'air, qui y triple et quadruple bientôt la tension de la vapeur.

457. Dans les deux cas, la partie des tuyaux qui plonge dans le puits doit être garnie, à son extrémité inférieure, d'une buse percée de trous, pour empêcher les cailloux et autres ordures d'être entraînés dans le condenseur. Il faut avoir soin que ces trous soient assez larges et en assez grande quantité pour laisser passer l'eau nécessaire. En supprimant la pompe du puits, l'on évite les réparations auxquelles elle est sujette, et l'on diminue le frottement de la machine : cependant, dans l'un et l'autre cas, la même quantité d'eau doit toujours être élevée, de sorte que la différence de charge est peu importante.

458. *De l'échauffement du condenseur plongé dans une bache.* Lorsque le condenseur plonge dans une bache, il ne peut pas s'échauffer, à moins que son robinet soit obstrué ou fermé par négligence; que la pompe ne fournisse plus assez d'eau; ou que, par un des accidents que nous avons indiqués en parlant des cylindres, des pistons et des soupapes, la vapeur passe directement de la chaudière au condenseur, ou qu'enfin la machine soit en assez mauvais état pour consommer une si grande quantité de vapeur, que toute l'eau fournie par la pompe du puits ne puisse plus suffire à la condenser. Dans ces derniers cas, il faut réparer la machine. Quant au premier, pour éviter que le condenseur qui puise l'eau directement dans une bache, n'attire les ordures ou tout autre objet

tombé dans cette bêche; et n'obstrue son robinet, il est nécessaire de poser devant ce robinet *c* une buse percée de larges trous, et semblable à celle qui est placée dans le puits au bout du tuyau d'aspiration *a*. Nous avons déjà vu plusieurs fois des condenseurs s'échauffer, parce que des chiffons tombés dans la bêche s'étaient engagés fortement dans le robinet, d'où ils sont difficiles à arracher.

459. *Échauffement du condenseur qui aspire l'eau du puits.* Lorsque au contraire le condenseur tire directement l'eau du puits, un léger dérangement dans la machine, une légère augmentation dans la consommation de la vapeur, ou l'inadvertance du chauffeur qui ne laisserait au robinet qu'une ouverture un peu trop faible, suffisent pour l'échauffer; et cet accident est d'autant plus fréquent, que la machine tire l'eau d'une plus grande profondeur. Il faut alors arrêter immédiatement la machine, puis verser de l'eau froide dans le condenseur, en ayant soin d'en soulever le clapet, pour qu'elle y pénètre. Il faut éviter de verser cette eau froide sur la chemise du condenseur, quand elle est très-chaude; on s'exposerait à la briser. Il est prudent, quand le condenseur est ainsi rempli, d'en faire sortir toute l'eau chaude, en tournant la machine à la main; d'enlever enfin celle qui resterait dans le haut du condenseur, et de le remplir une seconde fois d'eau froide. Si le condenseur est plongé dans une bêche, il faut aussi la vider, et en renouveler l'eau. En un mot, on ne saurait refroidir trop complètement le condenseur, avant de remettre la machine en mouvement, afin de ne pas être obligé de recommencer cette opération désagréable; car ici, comme partout, le mieux est toujours le plus court et le plus économique.

460. *De l'engorgement du tuyau d'aspiration.* Le condenseur, ainsi refroidi, est en état de tirer l'eau du puits, à moins que le tuyau d'aspiration *a* ne soit engorgé, ce dont il est facile de s'assurer: lorsque l'aspiration s'opère régulière-

ment, on entend l'eau monter dans le tuyau avec une grande vitesse ; et quand le tuyau est engorgé, le bruit cesse complètement. On peut, pendant ces opérations, laisser le robinet *t* du condenseur ouvert ; le tuyau d'aspiration, qui s'est échauffé en même temps que le condenseur, se refroidit plus facilement.

461. *Règlement du robinet d'aspiration.* Voici donc en peu de mots, quelles sont les principales causes auxquelles on doit attribuer l'échauffement des condenseurs : c'est 1^o lorsqu'on oublie d'ouvrir le robinet *t* du condenseur en mettant la machine en activité ; 2^o lorsqu'on ne l'ouvre pas assez pendant sa marche ; 3^o lorsque ce robinet est engorgé, 4^o ou enfin s'il a un passage trop étroit, ce qui en exige le remplacement. En essayant avec la main la température de l'eau qui ne doit jamais monter au-dessus de 40° centigrades, il est facile de régler ce robinet, et de l'ouvrir entièrement pendant quelques instants, si l'eau devenait trop chaude : il aspire alors une grande quantité d'eau, qui le refroidit complètement.

462. *Influence de la température de l'eau du condenseur sur l'aspiration, quand le puits est profond.* 5^o Le condenseur s'échauffe aussi lorsque l'on tire l'eau d'une assez grande profondeur, et que l'on condense trop chaud, parce que, comme nous l'avons dit, quand la température du condenseur commence à s'élever au-dessus du degré qu'elle doit conserver, le vide ne s'y produit plus aussi bien, et l'eau ne peut plus être aspirée d'une aussi grande hauteur, de sorte que la température s'élevant encore plus, l'eau contenue dans le condenseur devient bouillante, et la condensation de la vapeur ne peut plus s'opérer.

463. *Usure de la garniture du piston et de la boîte à étoupes.* 6^o Le condenseur peut encore s'échauffer, lorsque son piston n'est plus assez garni de cordes, ce que l'on reconnaît facile-

ment quand la machine, au moment de sa mise en marche, fait 6 ou 8 tours sans que l'eau soit aspirée : parce que l'air passant autour du piston avec facilité, le vide ne peut plus se produire au-dessous, et l'eau ne monte plus.

Le même accident se manifeste, lorsque la boîte à étoupes *f* du condenseur est mal garnie ; au moment où l'on met la machine en mouvement, si cette boîte n'est pas couverte d'eau, elle laisse rentrer avec un grand sifflement l'air qui s'oppose à l'aspiration de l'eau. Dans ces deux cas, et même toutes les fois que l'on met la machine en mouvement après un long arrêt, il est utile de jeter quelques seaux d'eau froide dans le condenseur, pour couvrir la boîte à étoupes, et rendre l'aspiration plus facile et plus prompte.

464. *Le piston peut tomber au fond du condenseur.* Nous ajouterons ici une observation qui peut être utile : c'est qu'il faut, lorsque l'on met en place le piston du condenseur, après l'avoir démonté, éviter avec soin de le laisser échapper et tomber à fond ; il y resterait presque inévitablement accroché au bord inférieur *g* du cylindre, par l'épaisseur des cordes dont il est garni : et il serait à peu près impossible de l'en retirer par en haut. Le seul remède serait, dans ce cas, de démastiquer le fond *h* du condenseur, et de retirer par là le piston. Il faudrait ensuite mastiquer de nouveau ce fond avec du mastic de fonte, et très-soigneusement, pour que l'air ne puisse pas y pénétrer. Si ce fond n'était pas mastiqué, et que toute la pièce fût coulée d'un morceau, comme nous l'avons tracé *planche 5*, il faudrait alors démastiquer le corps de pompe, qui est ajusté à queue d'aronde en *ll* dans son enveloppe *m* : et l'y remettre avec les mêmes précautions. Il est donc utile de placer au fond des condenseurs, comme le pratiquent quelques constructeurs, un petit trépied en fer *n*, capable de soutenir le piston dans son corps de pompe, s'il venait à échapper à la main.

465. *Durée de la garniture du piston.* Le piston du condenseur peut travailler deux ou trois ans sans être regarni, lorsque celui-ci plonge dans une bûche pleine d'eau froide ; mais lorsqu'il aspire l'eau du puits, surtout à une assez grande hauteur, il faut le regarnir tous les trois ou quatre mois environ ; ce qui devient évidemment nécessaire, lorsque au bout de 7 à 8 tours de la machine, l'eau refuse de monter ; au reste, cela varie avec la profondeur à laquelle on puise l'eau ; plus elle est grande, plus le condenseur doit être tenu en bon état.

466. *De l'air que donne le condenseur, et des moyens de reconnaître les ouvertures par lesquelles il pénètre dans la machine.* 7°. Il peut encore y avoir échauffement, lorsque le tuyau d'aspiration *a*, qui va puiser l'eau dans le puits, prend air, ou lorsque le puits ne fournissant pas assez d'eau, le tuyau aspire de l'air par sa buse inférieure : on s'en aperçoit facilement ; si toutes les boîtes à étoupes et les masticages de la machine étant en bon état, le condenseur donne beaucoup d'air. L'eau est alors projetée fortement à chaque coup de piston, par le bouillonnement de cet air, effet qui n'a pas lieu d'une manière aussi marquée lorsque l'air vient de la machine, que lorsqu'il vient du condenseur, sans doute parce que, dans ce dernier cas, l'air arrive encore froid dans le condenseur, et s'y dilate subitement d'une quantité considérable : en outre, lorsque l'air est aspiré par les cylindres ou par les boîtes, la machine devient très-lourde, ce qui n'a pas lieu à un aussi haut degré, comme on le conçoit sans peine, lorsqu'il vient du tuyau d'aspiration, puisque alors il n'agit pas aussi directement sur les pistons. Il en est de même, lorsque l'air est aspiré par le tuyau qui conduit la vapeur des boîtes au condenseur.

En tout cas, on trouvera toujours l'endroit où l'air pénètre, en promenant la flamme d'une lampe, le long des masticages et des tuyaux où l'on soupçonne une fente, jusqu'à ce qu'elle

soit fortement aspirée par le courant d'air qui pénètre dans cette ouverture. Si ce moyen ne suffisait pas, on pourrait mettre la manivelle en haut ou en bas, embarrer fortement le volant, pour qu'il ne puisse pas tourner, et introduire de la vapeur dans les cylindres; la vapeur remplit bientôt tous les espaces vides de la machine, et sort par les ouvertures qui donnent passage à l'air. Cette opération doit être faite avec précaution, parce que si le levier qui maintient le volant, et supporte tout l'effort de la machine, venait à se briser, ou à se déranger, il pourrait en résulter des accidents très-graves.

467. *Danger de l'air que prennent les machines.* Les tuyaux les plus exposés à des fuites, sont ceux qui établissent la communication entre les deux boîtes, et celui *o*, qui conduit la vapeur au condenseur, parce qu'il est difficile de les bien mastiquer. Les boîtes à étoupes des cylindres et des soupapes, fournissent également beaucoup d'air : on doit les resserfer et les regarnir fréquemment, et examiner souvent tous les mastiquages sous le même rapport.

Les manufacturiers doivent être bien convaincus que l'air est un véritable poison pour les machines à vapeur, et qu'ils faut donner la plus grande attention à la marche du condenseur. Cet objet est tellement important, que nous ayons vu plus d'une fois des fabricants diminuer d'un quart la consommation de la houille nécessaire à leur machine, en arrêtant l'entrée de l'air qui avait lieu par les tuyaux et les mastiquages. La quantité d'air qui est fournie par l'eau des puits, à mesure qu'elle s'échauffe, ce que l'on ne peut éviter, ne s'élève pas à 1/10^m de litre par chaque coup de piston, et cet air est à peine appréciable, quand la pompe du condenseur n'en aspire pas d'autre.

468. *Mesure du vide dans le condenseur.* On le mesure au moyen d'un baromètre muni d'un robinet, afin que dans les premiers moments de marche de la machine que l'on

purge d'air, les variations de pression étant très considérables, les oscillations du mercure ne l'emportent pas au dehors. Avec un semblable baromètre, on trouve que, dans une machine bien entretenue, on réduit et on maintient, dans le condenseur, la colonne de mercure à 0 m. 054 de hauteur, c'est-à-dire à 1/15 d'atmosphère moyennement, quand la vapeur travaille à 4 ou 5 atmosphères. Il faut, pour première condition, que le condenseur soit bien proportionné, et que le tuyau qui y conduit la vapeur soit d'un large diamètre, afin que la vitesse de la vapeur ne soit pas réduite.

469. *Clapet qui ne retombe pas.* Il arrive quelquefois à une machine de s'arrêter tout à coup, parce que le clapet *p*, du condenseur, ne tombe pas après s'être levé, et qu'il est retenu en l'air par la graisse amassée dans son collet *q*, autour du plateau: alors l'eau et même l'air rentrent dans le condenseur à chaque coup de piston, et la machine s'arrête. Il faut faire retomber le clapet chaque fois qu'il se soulève, à l'aide d'un bâton, et en suivre quelques instants la marche, jusqu'à ce que la graisse soit complètement enlevée par le frottement du clapet: ce que l'on facilite en ouvrant le plus possible le robinet du condenseur, pour fournir beaucoup d'eau et condenser à froid, ou en arrêtant un moment la machine, et essuyant la graisse déposée autour du collet. Cet accident, si l'on n'y prend garde, peut arriver jusqu'à 10 ou 12 fois dans une journée, quand le clapet est une fois gras.

470. *De la quantité d'eau nécessaire à la condensation.* On demandera maintenant quelle est la quantité d'eau nécessaire à une machine d'une force donnée.

La pratique exige dans une machine, du système de Woolf, en bon état 10 kilog. ou 10 litres d'eau, en une minute, par cheval, ou 600 litres à l'heure, ce qui répond à peu près à une consommation de 15 kilogrammes de vapeur ou de 3 k. de houille par heure. Pour une machine de 40 chevaux,

il faudrait donc 100 k. ou un hectolitre d'eau par minute. Cette quantité d'eau est un peu forte, mais il vaut mieux en avoir trop que d'en manquer ; on peut alors condenser à une plus basse température, procédé toujours plus avantageux, quoiqu'il exige l'élévation d'une plus grande quantité d'eau. Au reste on ne doit jamais condenser à une température plus élevée que 40°, à moins qu'il ne soit absolument impossible de se procurer de l'eau.

; Dans les machines à basse pression, il faut compter sur une consommation de 17 à 18 k. d'eau par minute, répondant à 5 k. de houille par heure et par cheval.

471. *Des dépôts qui engorgent le condenseur.* Un inconvénient auquel sont assez sujettes les machines qui marchent depuis quelques années, et qui s'alimentent avec de l'eau qui dépose beaucoup, ou celles dans lesquelles on prodigue outre mesure le suif destiné à graisser les pistons, est l'encombrement total du vide existant en *mm*, entre le corps de pompe *ii*, du condenseur et son enveloppe *m*. La vapeur et l'eau n'entrent plus qu'avec lenteur, la condensation se fait mal, et la machine perd alors toute sa force, et peut à peine se traîner à vide. On reconnaît ce défaut, en descendant une chandelle au fond de la pompe à air, et en regardant par les trous des vis *r*, qui fixent le plateau *s*, à la pompe à air, après les avoir enlevées. On peut quelquefois faire tomber ces galettes, en grande partie composées de suif altéré par la vapeur, qui se sont attachées aux parois du condenseur, en se servant d'un ciseau, soudé au bout d'une tringle de fer rond, que l'on fait passer par les trous de vis du plateau, et avec lequel on détache les dépôts. On enlève ensuite avec soin les ordures tombées au fond du condenseur. Si on ne réussit pas par ce moyen à nettoyer le condenseur, il faut alors en démastiquer le fond, ou la chemise, et la remonter ensuite avec soin. Si enfin, le fond ou les tuyaux du condenseur étaient engorgés de

graisse, et qu'il fût difficile de les démonter, on les nettoierait aussi sans peine avec une forte lessive de soude chauffée à 80 ou 100°: on laisserait séjourner la lessive, puis on laverait.

472. *Appareil de condensation de S. Hall.* Les inconvénients que présente dans un grand nombre de localités l'alimentation des générateurs avec des eaux surchargées de substances terreuses, et surtout l'alimentation avec l'eau de mer à bord des steamers, a fait désirer un procédé qui permit de condenser la vapeur sans la mêler à la quantité vingt fois plus grande d'eau nécessaire à la condensation.

Parmi les appareils proposés, celui de S. Hall, paraît être le meilleur. Il envoie la vapeur se condenser dans un appareil composé de six tuyaux de 12 millimètres de diamètre et de 1 mètre de longueur, autour desquels une pompe fait circuler un courant d'eau froide.

L'eau distillée qui se condense, est renvoyée à la chaudière qu'elle ne peut pas salir, et le vide se fait, dit-on, beaucoup mieux dans le condenseur, parce que l'eau envoyée à la chaudière ne contient pas d'air. Cet appareil a déjà été appliqué à plusieurs machines avec succès, surtout à bord des steamers (192).

473. *Refroidissement continu de l'eau de condensation.* Il arrive souvent que des machines à condensation, sont établies dans des localités où l'eau est rare, au moins en été. Celle qui est nécessaire pour la condensation manque, ou est trop peu abondante, et le condenseur est exposé à s'échauffer fréquemment.

En pareille circonstance, on fait circuler l'eau chaude à sa sortie du condenseur dans des canaux larges et peu profonds, à la surface de la terre, jusqu'à ce qu'elle soit complètement refroidie, et alors on la réemploie à la condensation. Ce procédé vaut mieux que de l'envoyer dans plusieurs grands bassins successifs, où le refroidissement s'opère mal.

Mais afin que le service ainsi organisé se fasse sans difficulté, il faut toujours avoir à sa disposition un renouvellement journalier d'un quart, dans l'eau de condensation, pour couvrir les pertes causées par l'imbibition des terres, et par l'évaporation d'autant plus considérable que l'eau présente une large surface, et est à une température assez élevée.

POMPES DE PUITS.

474. Dans l'article relatif au condenseur, nous avons indiqué quelles sont les circonstances où l'on peut, sans inconvénient, supprimer la pompe de puits, et aspirer l'eau directement par la pompe du condenseur. On a vu qu'il ne fallait pas adopter cette méthode, dès que le niveau constant du puits se trouvait à plus de 6 mètres de profondeur, et qu'au-delà il était indispensable de mettre dans le puits une pompe aspirante et foulante, pour élever l'eau.

En parlant de la pose des machines, nous entrerons dans quelques détails sur les précautions à prendre dans la construction des puits, sur les sondages préliminaires, et les essais à tenter avant l'établissement d'une machine à vapeur, pour s'assurer que le puits sera capable de fournir la quantité d'eau nécessaire, et qu'il ne tarira pas au milieu du travail. On y trouvera aussi quelques renseignements sur leur construction, et les conditions auxquelles ils doivent satisfaire.

Nous parlerons spécialement ici des pompes destinées à y puiser l'eau.

475. *De la quantité d'eau que peuvent fournir les pompes.* Les pompes sont construites en fonte ou en cuivre : voici les données nécessaires pour vérifier si elles peuvent suffire au service de la machine, ou pour les établir au besoin. Elles ne seront pas inutiles aux manufacturiers, qui plus d'une fois

sont obligés d'ajouter des pompes de puits à des machines qui en manquent, parce que le condenseur s'échauffe trop souvent, ou de changer des pompes trop faibles.

Nous avons dit qu'une machine de Woolf demande environ 10 k. d'eau par cheval en une minute, et une machine de Watt 17 à 18 k. La pompe de puits doit être en état de fournir constamment plus que la machine ne consomme : et alors on établit sur le bord de la bache un trop-plein qui rejette dans le puits l'excédant de l'eau, ou le déverse au dehors pour le service des ateliers.

476. *Proportion des pompes.* Admettons donc que, pour une machine de 10 chevaux, on demande à la pompe de donner 110 k. ou 110 litres par minute. Il faut en outre ajouter à cette quantité $\frac{1}{5}$ en sus, parce que les pompes de la meilleure construction ne donnent jamais toute la quantité d'eau indiquée par le calcul de leurs dimensions ; nous avons reconnu dans des constructions hydrauliques, que les pompes dont la vitesse est assez grande, donnent jusqu'à 15 et 20 p. 0/0 de moins que le calcul n'indique ; celles dont la vitesse est petite ne donnent que 7, 8 et 10 p. 0/0 de déchet. Au lieu de 110 litres, il faudra donc établir son calcul sur 130 litres à peu près par minute, et comme la machine donne 27 coups de piston en une minute, la pompe devra fournir 4 k. 80 par coup du piston.

La course du piston de la pompe est déterminée par la course du tourillon du balancier auquel elle s'attache. Elle est, dans les machines de 10 chevaux, de 0 m. 24 environ. En divisant 41 k. 80 ou 0 m. c. c. 042, par 0 m. 24, on trouve que le piston doit avoir 0 m. c. 02 de surface, ou 2 décimètres carrés : ce qui équivaut à 0 m. 15 de diamètre.

Si l'on admet que la machine de 10 chevaux fasse 28 révolutions par minute, le piston sera un peu moins grand, et comme nous avons compté très-largement la quantité d'eau nécessaire à la machine, on peut sans inconvénient calculer

sur 28 coups de piston, ce qui est le maximum de vitesse des machines de 10 chevaux:

477. *Construction de la pompe foulante.* La pompe que nous avons reconnue être la meilleure, est celle à piston plein, surtout quand le piston est en bronze. On trouvera dans les légendes des planches, l'explication détaillée de cette pompe; elle est parfaitement semblable aux pompes foulantes employées à l'alimentation des chaudières à moyenne et haute pression.

Les principaux avantages qu'elle présente dans le service d'une machine sont : de ne se déranger que très-rarement, parce qu'il n'y a presque point d'ajustement, ni dans le piston ni dans les soupapes, et d'être très-facile à nettoyer et à réparer; le piston *a* (pl. 8, fig. 6,) ne peut jamais éprouver d'accident; les soupapes *dc*, bien rodées ou même garnies de cuir en dessous, ne s'usent jamais, et tiennent parfaitement l'eau. Et quand il devient nécessaire d'ouvrir la chapelle *m* de la pompe, pour le nettoyage de ces soupapes, on le fait sans peine en enlevant le plateau *m* qui la ferme; quelquefois, on place le tuyau de refoulement *f* immédiatement au-dessus de la boîte à soupapes : mais il faut alors soulever ce tuyau pour ouvrir la boîte, ce qui entraîne des pertes de temps.

478. *Usure des soupapes.* Si les soupapes ne sont pas garnies de cuir, elles s'usent quelquefois plus vite d'un côté que de l'autre, parce que, quelque précaution que l'on prenne pour les ajuster parfaitement, il est difficile que l'un des côtés ne soit pas plus lourd que l'autre, et qu'en retombant toujours le premier, il ne s'use pas plus rapidement, ne fasse pas éprouver le même effet au siège sur lequel il vient frapper, et ne laisse pas bientôt échapper l'eau, quand le piston la refoule : et quand la soupape serait rigoureusement équilibrée, la direction que prend l'eau, qui se porte nécessairement avec plus de vitesse du côté de l'ouverture du corps de

pompe, suffit pour soulever et user inégalement cette soupape. Lorsque les soupapes sont ainsi usées, la quantité d'eau fournie par la pompe diminue, et quelquefois même la pompe refuse de marcher; mais le plus ordinairement, on reconnaît cette usure, lorsqu'en mettant la machine en mouvement, la pompe de puits donne 8 ou 10 coups de piston, avant de fournir de l'eau; quelquefois même on est obligé de l'amorcer avec un ou deux seaux d'eau, que l'on verse sur le piston, ou dans le tuyau de refoulement *f*, afin de couvrir la soupape supérieure *b*. En effet si la boîte à soupapes ne contient pas d'eau, l'air qui passe beaucoup plus facilement que l'eau à travers les soupapes usées, vient remplir le corps de pompe à chaque coup de piston, et le vide ne s'y produisant plus, la pompe ne peut plus travailler. Une petite quantité d'eau suffit ordinairement pour arrêter cet effet, et amorcer la pompe : quand elle est en activité, elle continue à travailler sans dérangement. L'usure trop longtemps négligée des soupapes, un défaut qui se découvrirait dans le siège de ces soupapes, une ouverture qui se manifesterait tout à coup dans les masticages, ou le déchirement subit d'un cuir, peuvent seuls arrêter complètement le travail de cette pompe.

L'usure des soupapes et les défauts de la fonte se corrigent en les limant et les rodant à l'émeri, jusqu'à ce qu'elles tiennent l'eau; des clapets bien dressés et bien rodés tiennent parfaitement l'eau, même sans cuir. Quand la chapelle qui contient ces soupapes est en fonte, il vaut mieux faire les clapets en bronze, et ne pas les garnir de cuir. Les masticages se réparent, même pendant que la machine marche, en chassant fortement de l'étaupe dans les joints, au moyen d'un ciseau.

479. *Du cuir ou de la boîte à étoupe.* Quelquefois le piston de ces pompes court dans deux cuirs emboutis, et opposés l'un à l'autre, de manière que le premier empêche

la rentrée de l'air , et le second la sortie de l'eau , comme les cuirs d'une presse hydraulique.

Mais la meilleure disposition est une simple boîte à étoupe, avec une forte rondelle de fer au fond. On fait la garniture avec de bonnes tresses d'étoupe bien graissée ; on en entretient la boîte pleine, et la pompe ne demande presque aucune surveillance pour marcher bien et longtemps.

480. *De la hauteur à laquelle on doit placer la pompe dans le puits.* La place que la pompe doit occuper dans le puits , est un objet important à déterminer : à moins d'impossibilité absolue, il faut placer le puits près de la machine, afin de mettre la pompe dans le puits même. On y trouve deux avantages : le premier est d'avoir des tuyaux d'aspiration ou des renvois de mouvement moins longs que si le puits se trouvait éloigné, et par conséquent beaucoup moins de perte de force ; le second est de pouvoir placer la pompe un peu au-dessous de la moitié de la hauteur à laquelle il faut élever l'eau , tant que cette moitié n'est pas supérieure à 6 ou 7 m. , parce qu'au-dessus , l'aspiration de l'eau ne se fait plus aussi bien , et le produit de la pompe diminue.

On a , en effet , reconnu par expérience , que c'est le rapport le plus avantageux à établir entre les longueurs des tuyaux d'aspiration et de refoulement (1), et que dans cette position la pompe fournit son maximum d'eau.

481. *De la pose de la pompe :* On ne manquera donc pas de placer ainsi la pompe , plus bas d'une petite quantité que la moitié de la distance entre le niveau constant du puits , et la hauteur à laquelle monte l'eau. Ce niveau constant est le niveau auquel l'eau se maintient dans le puits , quand la

(1) Nous devons ce rapport , auquel on n'a jusqu'à présent donné que peu d'attention , à M. Monferme, qui a fait sur ce sujet une suite d'expériences dont les résultats ont été très-importants.

pompe travaille à sa vitesse ordinaire. La pompe, si le puits se trouve sous la machine, sera boulonnée sur un madrier de chêne de 0 m. 11, posé en travers du puits, et scellé solidement dans ses parois, en ayant soin de ne pas placer les boulons trop près du bord du madrier, pour conserver au bois toute sa force. Il sera quelquefois plus facile de boulonner la pompe sur le madrier, hors du puits, et de les descendre ensemble pour les y sceller. La pompe doit être parfaitement verticale, et la ligne d'aplomb passant par son centre, doit, comme nous le dirons, pour le centre du grand cylindre, et pour l'axe de la manivelle, partager verticalement en deux l'arc de cercle décrit dans sa course, par le tourillon qui soutient la tringle de la pompe, afin de partager en deux le faux tirage donné par cet arc de cercle, faux tirage qui, sur la grande longueur de cette tringle, et ainsi partagé, est à peine sensible. (*Montage des machines.*)

482. Le centre de la pompe doit en même temps se trouver à l'aplomb du milieu des coussinets de cuivre qui serrent le prisonnier : ou, autrement dit, au milieu de sa gorge. On mettra la pompe parfaitement d'aplomb, pour que le piston ou au moins ses cuirs ne soient pas usés inégalement. Répétons ici qu'il faut l'écarter des murs du puits, afin de pouvoir la démonter et la remonter sans embarras ; cette précaution, à laquelle les monteurs ne donnent pas assez d'attention, est importante ; parce que de petites pertes de temps, et de petites difficultés sans cesse renouvelées, quand elles eussent été faciles à éviter, deviennent souvent sérieuses, un travail qui ne demandait qu'un quart d'heure, dure une ou deux heures, et la machine en souffre ; c'est ainsi, par exemple ; que faute d'avoir écarté la pompe des murs, l'on peut être obligé de desserrer et de resserrer au fur et à mesure des écrous que l'on eût, dans une autre position, facilement démontés à la clef, sans les couper ni les user.

483. Cette observation, sur laquelle nous insistons, parce qu'au premier coup d'œil elle paraît minutieuse, trouve de fréquentes applications dans le montage des machines ; c'est un grand mérite aux constructeurs, que de prévoir d'avance les accidents qui peuvent arriver à chacune des pièces de leurs machines, et d'en préparer le démontage et le raccommodage faciles et prompts.

484. *Des causes qui diminuent le produit des pompes à eau.* Nous avons dit que les meilleures pompes, et celles qui réunissent les conditions les plus favorables, ne fournissent pas exactement la quantité d'eau qu'elles devraient donner d'après leur diamètre et leur vitesse. Cette différence des résultats pratiques à ceux du calcul, est souvent très-grande dans des pompes bien construites : elle s'élève, comme nous l'avons dit, à $\frac{1}{5}$ environ, de sorte qu'une pompe calculée et construite pour fournir, par exemple, 1600 litres d'eau par heure, n'en donnerait que 1300 environ.

Plusieurs causes concourent à augmenter cette perte dans la plupart des pompes ; il est utile de les connaître.

485. *De la vitesse à leur donner.* On leur donne souvent trop de vitesse. Au-delà de 15 ou 16 coups de piston par minute ; avec une course de 0 m. 40 environ, ou en d'autres termes, au-delà d'une vitesse de 0 m. 15 à 0 m. 20 par seconde, le travail des pompes diminue, et pour donner le même produit elles consomment plus de force. Cet effet se conçoit facilement, quand on pense à la grande augmentation qui a lieu dans les frottements et contractions de l'eau, dès que celle-ci prend une vitesse plus grande.

486. *Du diamètre des tuyaux d'aspiration et de refoulement.* Une autre cause tend ordinairement à accroître ce fâcheux effet ; c'est le diamètre trop petit que l'on donne aux tuyaux d'aspiration et de refoulement, et les étranglements qu'éprouve l'eau en traversant le piston, ou les étroites soupapes de la

plupart des pompes : il n'y a aucun inconvénient à rendre large le tuyau d'aspiration ; il est même nécessaire de lui donner le même diamètre qu'aux soupapes, pour que la vitesse et la direction de l'eau ne soient pas changées par cet étranglement. Celui de la pompe dont nous parlons a 0 m. 08 de diamètre, et cette largeur est la plus convenable à adopter pour la quantité d'eau qu'elle doit fournir. Mais il est plus important peut-être encore, ce que l'on néglige toujours, de donner au tuyau de refoulement un diamètre égal à celui des soupapes et du tuyau d'aspiration. Dans de petits tuyaux, l'eau est refoulée difficilement, et le piston obligé de vaincre un effort beaucoup plus grand.

487. Le tuyau de refoulement se termine avantageusement à sa partie supérieure par un tuyau vertical, fermé seulement par une pomme d'arrosoir mobile *k*. Ce tuyau supplémentaire s'élève à 1 m. 30 au-dessus de celui où l'eau vient se dégorger : il sert à recevoir un instant l'eau qui n'aurait pas le temps de s'écouler pendant le refoulement du piston, et en outre à l'élever, au besoin, à une hauteur plus grande, si l'on voulait la faire couler ailleurs, en tout ou en partie, pour quelque service. On y réussirait en effet en adaptant un second tuyau de décharge, au-dessus du tuyau d'écoulement, que l'on bouche alors d'une quantité déterminée, au moyen d'un tampon de bois.

Il ne faut pas oublier en tout cas de placer une pomme d'arrosoir au bas du tuyau d'aspiration, afin qu'aucune ordure, aucun caillou ne puisse être aspiré par la pompe.

488. *Nétoyage du puits.* Il nous reste à recommander aux manufacturiers de couvrir le puits avec un plancher solide, surtout s'il est placé immédiatement sous la machine à vapeur, afin d'arrêter toutes les pièces, boulons, rondelles, clefs, grains, etc., qui pourraient souvent y tomber. Les puits doivent en outre être nettoyés de temps en temps, surtout quand

on voit diminuer la quantité d'eau qu'ils fournissent : un simple curage fait dans les sécheresses d'été, et pendant que la pompe travaille fortement, pour tenir le niveau de l'eau très-bas, suffit souvent pour augmenter considérablement le produit du puits. Au reste, il est beaucoup de puits qui s'améliorent par l'usage, et fournissent après une ou deux années de travail, une eau plus abondante et de meilleure qualité que celle qu'ils donnaient en premier lieu : et des établissements qui avaient été gênés par le manque d'eau, à leur formation, ont fini par en être abondamment pourvus. Il ne faut pourtant pas compter sur cette amélioration douteuse, quand on veut monter une machine sur un puits trop faible.

DU MODÉRATEUR.

489. *Méthode pratique pour le régler.* Notre objet n'est pas d'entrer ici dans les détails de construction des divers modérateurs à force centrifuge, employés à régler les machines à vapeur. Il n'est pas de chauffeur qui ne sache, que lorsque la machine prend une vitesse plus grande que sa vitesse de règle, les boulets du modérateur s'écartent l'un de l'autre, et font marcher une douille qui glisse sur son axe de rotation. Cette douille, au moyen de leviers combinés, ferme le robinet d'introduction, et par conséquent ralentit la machine : quand elle-ci se ralentit au contraire, les boulets se rapprochent, la douille marche en sens contraire, et ouvrant le robinet d'introduction, laisse entrer dans le cylindre une plus grande quantité de vapeur, et augmente par conséquent la vitesse de la machine.

Pour qu'un modérateur agisse utilement, il doit donc évidemment avoir une marche telle que, quand la machine travaille à sa vitesse de règle, les boulets du modérateur soient à moitié ouverts ; alors si la machine se ralentit, les bou-

lets peuvent se rapprocher et ouvrir le robinet : si au contraire la machine prend une vitesse trop grande, les boulets peuvent s'éloigner l'un de l'autre, et fermer le robinet d'introduction.

490. *De sa vitesse moyenne.* Il s'agit donc, pour poser et régler un modérateur, de lui donner cette vitesse moyenne qui n'ouvre ses bras qu'à moitié de leur course. Or, quand le modérateur est commandé par des engrenages, sa vitesse a été déterminée par le constructeur, et ne peut pas varier, à moins de changer ces engrenages : mais quand il est commandé par des poulies et une courroie, il est facile, en changeant le diamètre des poulies, de modifier sa vitesse. Chaque constructeur sait d'avance quelle est la vitesse de règle des modérateurs qu'il établit, parce qu'il en a calculé les dimensions pour une vitesse déterminée. Elle est ordinairement de 40 tours par minute pour les régulateurs qui sortent des ateliers de Saint-Quentin : c'est une vitesse souvent employée.

Mais quand on ne la connaît pas d'avance, le moyen le plus sûr pour bien régler un modérateur, est de le faire tourner par un moyen quelconque, une courroie et une manivelle, par exemple, etc., et de noter la vitesse qu'il possède, quand on le voit à moitié ouvert.

491. *Calcul des poulies de commande.* On calcule alors les diamètres des poulies, pour lui donner cette même vitesse moyenne, que l'on a trouvée par expérience.

Il ne sera pas inutile de donner ici un exemple de ce calcul bien simple.

Admettons que l'arbre du volant sur lequel on prend le mouvement, fasse 25 révolutions en une minute, comme dans une machine de 16 chevaux, et que l'on veuille donner au régulateur 40 tours de vitesse. La poulie de commande, placée sur l'arbre du volant, ayant 0 m. 38, on établit la proportion suivante, qui est une proportion inverse, parce

que, plus la poulie du modérateur sera petite, plus sa vitesse sera grande.

La grande vitesse 40 tours est à la petite vitesse 25, comme le grand diamètre 0 m. 38 est au petit diamètre x .

$$40 : 25 = 0\text{m. } 38 : \frac{25 \times 0,38}{40} = 0\text{m. } 24.$$

On multiplie 25 par 0 m. 38, et on divise le produit par 40; le quotient est le diamètre de la poulie du modérateur, qui lui donnera 40 tours : ce diamètre est 0 m. 24. Les rapports de diamètre de toutes poulies et engrenages se calculent de même.

492. *Des limites dans lesquelles il régularise la vitesse des moteurs.* Le modérateur à force centrifuge, est un moyen sûr de régler la vitesse des machines à vapeur, de manière à la rendre constante, malgré les variations de pression de la vapeur et celles qui surviennent dans la charge de la machine, comme cela a lieu à chaque instant dans les ateliers où l'on emploie un grand nombre de métiers et d'outils différents; filatures, aiguiseries, etc., et où une partie de ces outils, est à chaque instant dégrenée et engrenée : ce qui change les charges de la machine, et en changerait la vitesse, si le modérateur, ne la régularisait; mais on sentira facilement que la course de ce modérateur n'a qu'une petite étendue : de manière que, si les changements dans la charge, et dans la pression de la vapeur, sont trop considérables, comme cela a lieu sur les machines employées dans les forges, le modérateur prend une si grande ou une si petite vitesse, que ses boulets s'écartent jusqu'au bout de leur course, ou retombent tout à fait, et arrivés à ces deux points, le modérateur n'agit plus. Il faut alors que le chauffeur change lui-même l'ouverture du robinet d'introduction, pour ramener la machine à sa vitesse

de régime, et rendre par conséquent au modérateur, sa vitesse moyenne et son action efficace.

493. Il suit de là que le modérateur n'est utile que pour régulariser de légers changements de vitesse, comme dans les filatures de coton, de lin et de laine, par exemple, où l'on ne peut pas obtenir de beaux produits, si le mouvement n'est pas parfaitement régulier; on trouvera dans la troisième partie des détails sur la meilleure vitesse à donner aux machines, et les moyens de la régler. (Voir aussi note 7.)

494. *Des moyens d'étendre ses limites d'action.* On peut quelquefois, au reste, augmenter la course du modérateur en augmentant la longueur de ses bras, et accroître ainsi l'étendue de son action, si l'on s'aperçoit qu'il n'agit que dans des limites trop resserrées.

TROISIÈME PARTIE.

SOINS GÉNÉRAUX A DONNER AUX MACHINES A VAPEUR.

DES MASTICS.

495. *Précautions à prendre dans les masticages.* L'opération de mastiquer les pièces d'une machine à vapeur, qui paraît facile au premier coup d'œil, réclame au contraire une attention et des soins minutieux.

Les masticages mal faits sont une source de pertes constantes; l'air qu'ils sont destinés à arrêter, et qu'ils laissent pénétrer de toutes parts; la vapeur qu'ils laissent échapper au lieu de la maintenir, anéantissent toute la force de la machine, et augmentent dans un grand rapport la consommation journalière de houille.

D'un autre côté, la nécessité de les renouveler souvent entraîne des pertes de temps difficiles à apprécier, et des

dépenses très-fortes en main-d'œuvre et en mastic. Le mastic rouge coûte fort cher, et c'est particulièrement celui qui, s'il est mal fait, demande le renouvellement le plus fréquent. Il revient environ à 2 franc le kilogramme, et il est très-lourd. Le seul moyen de faire les masticages bons et durables, est d'avoir des pièces bien ajustées et parfaitement dressées. Ceci dépend du soin et de l'habileté des constructeurs. Le manufacturier qui achète une machine, ou tout autre appareil à vapeur, doit en exiger la rigoureuse exécution. Ce sera pour lui une des meilleures garanties de la puissance, de la régularité et de l'économie d'entretien de sa machine. Nous reviendrons sur ce sujet dans la quatrième partie, en parlant de *l'achat et de la réception des machines à vapeur*.

496. *Diverses espèces de mastics.* Plusieurs espèces de mastics sont employées dans les machines à vapeur, suivant l'usage des pièces à mastiquer, et la pression à laquelle ils doivent résister. Les principaux sont :

1° Le mastic de fonte, employé dans les ajustements, que l'on ne démonte presque jamais, et partout où les pièces sont exposées à l'action du feu ;

2° Le mastic rouge, employé dans tous les masticages à haute et moyenne pression qui ne subissent pas l'action du feu, et doivent souvent être démontés ;

3° Le blanc de céruse en pâte, employé dans les mêmes circonstances que le précédent, mais dans les machines et les chauffages à basse pression.

497. *De la composition du mastic de fonte.* Les proportions à employer dans la composition de ce mastic, pour qu'il soit fort et prenne rapidement, sont les suivantes :

Limaille de fonte non oxidée,	25 à 30 parties;
Sel ammoniac,	1 partie;
Fleur de soufre,	1 partie.

Ces proportions peuvent néanmoins varier encore sans inconvénient marqué. Quelques mécaniciens y ajoutent 1 partie de sulfure d'antimoine ; mais nous n'en avons pas aperçu l'utilité, le mastic nous ayant paru aussi bon sans cette addition. Watt a conseillé d'y mêler aussi une petite quantité de la poudre qui se rassemble dans l'auge des meules à aiguiser : cette poudre, contenant du fer très-divisé, détermine plus promptement l'action chimique entre la limaille de fonte et le soufre.

498. *De son emploi.* Il y a deux manières d'employer ce mastic : en pâte molle à froid, ou sec et chaud. Dans le raccommodage des tubes et chaudières, où on doit le comprimer entre deux plaques serrées par des écrous, il faut l'employer en pâte, et lui laisser prendre de la dureté pendant quelques jours, parce qu'en s'échauffant lentement il remplit mieux toutes les fentes et les joints des pièces ajustées, et que la pression des écrous suffit pour le serrer convenablement ; mais toutes les fois que l'on peut le comprimer à coups de marteau, comme dans le masticage des cylindres, des bouilleurs, des boîtes à vapeur, du condenseur, des tuyaux, etc., il faut l'employer sec et chaud, et il prendra à l'instant même toute sa dureté.

499. Pour le préparer par cette seconde méthode, on prend 6 ou 8 parties de limaille de fonte que l'on mêle avec le soufre et le sel ammoniac, et on humecte légèrement le tout avec de l'eau ou avec de l'urine ; celle-ci agit plus fortement : on le remue quelque temps ; quand il commence à s'échauffer, on l'humecte de nouveau, et on y ajoute par parties le reste de la limaille : il faut cependant lui conserver un léger degré d'humidité, et y ajouter de l'eau ou de l'urine chaque fois qu'il commence à se sécher. Lorsqu'on le maintient ainsi à peu près sec, en un quart d'heure ou une demi-heure au plus, il s'échauffe fortement, et dégage une vive

odeur de soufre (hydrostulfure d'ammoniaque); on l'humecte de nouveau, puis on l'emploie à l'instant même, pendant qu'il travaille encore, et parfaitement sec. Ainsi préparé, il prend immédiatement, sous les coups de marteau, la dureté de la fonte. A mesure que la combinaison du mélange s'opère, il se gonfle, et remplit toutes les petites ouvertures dans lesquelles on le chasse.

500. Si l'on tardait à s'en servir, après s'être vivement échauffé, la réaction du soufre et du fer étant terminée, il se refroidirait, et perdrait ainsi toute sa force et sa qualité. Quand on veut en conserver une partie pendant quelques jours, on n'ajoute pas toute la limaille de fonte au premier mélange dont nous avons parlé, de 6 à 8 parties de limaille, avec le soufre et le sel ammoniac; mais on délaie ce mélange dans une quantité d'eau ou d'urine suffisante pour le noyer, afin de le garantir du contact de l'air; il se conserve ainsi longtemps; quand on veut l'employer, on ajoute à cette pâte liquide le reste de la limaille, pour la rendre sèche; elle s'échauffe alors promptement. Quand on a plusieurs masticages successifs à faire, il faut préparer ainsi un mélange de toute la dose de sel ammoniac, de soufre et d'urine en excès, avec une petite quantité de limaille; puis on prend, à mesure des besoins, une portion de cette préparation, que l'on mêle avec la quantité nécessaire de limaille sèche, et on l'emploie dès qu'elle commence à s'échauffer.

501. C'est, nous le répétons, avec ce mastic sec que l'on réunit les bouilleurs aux chaudières, les boîtes à vapeur aux cylindres, les cylindres et le condenseur à leur enveloppe, enfin toutes les pièces où l'on peut chasser fortement le mastic, et qui ne doivent être démontées que rarement. Il résiste parfaitement à l'action de l'eau et de la vapeur, et même assez bien à celle du feu. Cependant il faut, à moins de nécessité absolue, le laisser prendre toute sa force pendant

deux jours environ sans l'exposer au feu ; avant ce temps , on pourrait être obligé de recommencer le masticage , parce qu'il laisserait fuir la vapeur ; et l'on sent facilement que la perte de temps serait , en définitive , beaucoup plus grande. Cependant , quand le temps presse , il faut employer le mastic le plus sec possible , augmenter un peu la dose de soufre et de sel ammoniac , pour hâter son durcissement , le comprimer plus fortement encore , et le sécher ensuite avec un feu léger. Au moyen de ces précautions , on peut , sans inconvénient grave , le mettre en contact avec l'eau ou la vapeur , dix-huit ou vingt-quatre heures après qu'il a été employé.

502. Lorsqu'on ne peut pas le comprimer à coup de marteau , on le délaie avec de l'eau pour en faire une pâte molle , que l'on chauffe quelquefois afin d'en déterminer la combinaison , surtout si l'on est en hiver ; et que l'on applique à la main , en remplissant le plus possible l'espace que l'on veut boucher : c'est ainsi que l'on ferme en cas d'accident les joints des plaques de tôle qui composent les chaudières , ou que l'on raccommode les chaudières et autres pièces brisées auxquelles on peut appliquer une plaque serrée par des boulons sur le mastic en pâte , comme on le fait sur du mastic rouge , avant qu'il ait eu le temps de durcir.

503. *Du mastic de fente et de soufre fondu.* Il est un autre mastic , composé aussi de limaille de fonte et de soufre , et qui est employé principalement à boucher et cacher les trous ou défauts des pièces de fonte. Pour le préparer , on fait fondre du soufre , et on y incorpore de la limaille de fonte ; on en remplit les trous de pièces de fonte ; enfin on l'arrose avec un peu d'eau contenant du sel ammoniac ; il se couvre immédiatement de rouille , et il devient difficile d'en reconnaître la trace : avec un fer chaud il fond sans peine.

504. *Du mastic rouge , de sa préparation.* Dans les petits

ajustements , dans le masticage des pièces bien dressées , et de celles que l'on est obligé de démonter souvent , et où l'on ne peut , par conséquent pas se servir de mastic de fonte , on emploie le mastic rouge , composé de

Céruse ,	1 partie ,
Minium ,	1 partie .

Le tout sera parfaitement mélangé , et même tamisé ensemble , puis imbibé d'une petite quantité de bonne huile de lin ou de chenevis , et à défaut d'huile de lin ou de chenevis , de toute autre huile siccative , que l'on ajoute seulement par petites parties , en battant le mélange avec un marteau pendant longtemps , et jusqu'à ce que la pâte soit bien liée et assez ferme . Il est bon , pour cela , de ne pas mêler immédiatement toute la céruse et le minium avec l'huile , parce que , sous les coups de marteau , la pâte , qui paraissait trop sèche au premier instant , devient bientôt trop molle , et n'a plus assez de corps pour faire de bons masticages .

Il faut donc se réserver les moyens d'y ajouter une nouvelle quantité de matière sèche , et la battre de nouveau : le mastic doit être assez consistant pour résister un peu à la pression qu'on lui fait subir en serrant les pièces ensemble . En effet , s'il était trop mou , il ne remplirait pas aussi bien les fentes que l'on doit boucher ; et quand la vapeur viendrait à agir , il ne se durcirait pas aussi vite , et la laisserait probablement échapper . Il faudrait , dans ce cas , recommencer entièrement le masticage : observons aussi que tant qu'il n'est pas sec , il se ramollit encore à la première action de la chaleur , ce qui doit engager à l'employer très-ferme quand on mastique une pièce chaude . La pâte sera assez fermée et assez liante quand on pourra en former de petits rouleaux sans la casser .

505. *De son emploi.* Ce mastic résiste bien à l'action de la vapeur, dans les machines à basse ou à haute pression, quoiqu'à la longue il se décompose, et que le plomb se revivifie en partie sous l'action combinée de l'huile et de la vapeur; mais il ne résiste pas à l'action directe du feu. Un de ses principaux avantages est de pouvoir travailler immédiatement avec les pièces dans lesquelles on l'a employé. C'est le mastic dont on se sert le plus fréquemment pour les plateaux des cylindres, les boîtes, par exemple, et l'ajustement de tous les tuyaux.

506. *Masticage des tuyaux.* Si l'on veut mastiquer ensemble deux tuyaux *ab* (*pl. 9, fig. 10, 11, 12 et 13*) ajustés avec une double bride de fer *cd* on taille une rondelle de plomb de l'épaisseur de 2 millimètres environ. On la frotte avec un peu d'huile de lin, pour que le mastic s'y attache plus facilement; on étend de chaque côté de la rondelle une couche de mastic rouge, de 3 ou 4 millimètres d'épaisseur; on la recouvre de quelques filaments d'étope, pour maintenir et lier encore mieux le mastic, et lui donner plus de corps quand il sera sec. On place cette rondelle entre les deux tuyaux, que l'on réunit ensuite fortement au moyen de boulons.

Pour éviter que le mastic comprimé ne bouche l'ouverture des tuyaux, ou n'en gêne le passage, et dans tous les masticages en général, on ne doit employer que la quantité de mastic rigoureusement nécessaire, et le disposer avec soin au bord de l'ajustement à former. Mais il faut en outre, lorsque l'on ajuste des tuyaux de cuivre, en laisser dessaillir l'extrémité *g* de 1 centimètre environ au-delà du collet qui sert à réunir les tuyaux. Cette saillie doit entrer dans le tuyau correspondant, de manière à empêcher le mastic d'y pénétrer.

Ce mastic rouge sèche promptement quand il est chauffé, et il est d'une grande utilité dans tous les emplois de la vapeur.

507. *Mastic économique.* Nous y avons apporté une modification qui en réduit le prix de moitié, et atteint le même but.

Nous le composons d'une partie de minium, une partie de céruse et deux de terre de pipe bien sèche, le tout préparé et battu avec l'huile de lin, comme le mastic précédent; il est plus long à travailler, mais il est très-ferme, bien liant, et résiste parfaitement à la vapeur; nous recommanderons ici de n'employer, autant que possible, que de la céruse pure, et sans être mêlée au sulfate de baryte ou à la craie, comme cela a presque toujours lieu, parce que ces matières étrangères ne servent à rien dans le mastic, et en diminuent la force. Ce mastic, travaillé avec de la terre de pipé, devient beaucoup plus liant, au bout de vingt-quatre heures, qu'il ne l'était au premier moment; aussi conseillons-nous de le préparer d'avance.

Le mastic rouge se durcit en deux ou trois jours, mais on peut le conserver quelque temps sous l'eau; il est même prudent d'en avoir une petite quantité d'avance en cas d'accident.

508. *Masticage d'un plateau.* Nous allons donner un exemple de ce masticage. Pour mastiquer le plateau d'un cylindre, on le nettoie et le gratte avec soin, puis on frotte légèrement le rebord avec de l'huile de lin, afin que la fonte trop sèche ne boive pas immédiatement l'huile du mastic, et ne l'empêche pas d'adhérer. On place alors sur le rebord un petit boudin de mastic, que l'on enveloppe quelquefois d'étoupes, tandis que d'autres mécaniciens se contentent de le couvrir de quelques filaments de chanvre pour lui donner plus de résistance. Il faut avoir soin de ne pas l'écraser fortement avec le doigt, parce qu'il ne pénétrerait plus dans les pores et les défauts du plateau pour les boucher. Si les deux surfaces du plateau sont parfaitement dressées, il suffit alors de poser le plateau sur le bourrelet de mastic, sinon on le couvre

d'une rondelle de plomb, que l'on garnit en dessous d'un nouveau boudin de mastic et d'étoupes; on y descend le plateau, et on en serre les écrous. Nous avons indiqué, en parlant des cylindres (372), les précautions à prendre pour serrer ces boulons. Tous les autres ajustements au mastic rouge sont du même genre. Nous rappellerons seulement aux chauffeurs, en insistant sur cette observation, que ce n'est pas la grande quantité de mastic, mais sa bonne disposition qui fait les bons assemblages.

509. *Autre mastic à la chaux vive.* Dans les joints de la machine à colonne d'eau de Huelgoat, M. Junker a employé un mastic très-solide, composé de chaux vive en poudre et d'huile de lin fortement lithargirée; ce mastic, qui tient parfaitement à l'eau, ne résisterait pas à l'action de la vapeur.

510. Dans les machines à basse pression, on emploie un masticage plus rapide et un peu plus économique. Il consiste à placer entre les parties que l'on doit ajuster, une rondelle de carton, et à la couvrir, de chaque côté, d'une couche de céruse broyée en pâte avec de l'huile de lin. Cependant le mastic rouge, en petite quantité, résiste encore mieux à la vapeur.

511. *Fermeture par un anneau en cuivre.* Tredgold indique un moyen assez utile de fermer les ajustements des pièces qui sont parfaitement dressées, c'est d'y placer un anneau en fil de cuivre ou une rondelle d'étain; le serrage des boulons suffit pour aplatir le métal, et fermer tout passage à la vapeur, même à haute pression.

512. *De la graisse des os.* La graisse extraite des os est d'une excellente qualité pour le graissage des machines c'est-à-dire qu'elle ne brûle pas vite; mais elle a souvent, par une mauvaise préparation, une odeur désagréable. En traitant les os par la vapeur sans eau, on en retire, terme moyen, 10 p. 0/0

de graisse très-propre. Cette opération se fait en renfermant les os broyés dans un vase de fonte ou de cuivre, qui porte d'un côté un tuyau destiné à y introduire la vapeur par le bas du vase, et de l'autre, un robinet pour écouler la graisse fondue. En plaçant les os dans l'eau et y faisant passer un courant de vapeur, on en retire plus de graisse encore. Les os doivent être préalablement lavés à grande eau.

On fond cette graisse, on la laisse reposer à chaud, et on la décante lentement. Elle doit être mêlée à la plombagine pour les engrenages.

COMMUNICATIONS DE MOUVEMENT.

513. L'instruction d'un chauffeur ne serait pas complète, si, en même temps qu'il est en état de conduire une machine et de corriger ses défauts, il ne savait pas quels soins et quelles préparations demandent les communications de mouvement, dont la surveillance peut lui être aussi confiée.

Nous allons passer successivement en revue les communications de mouvement le plus fréquemment employées; les arbres, leurs paliers et leurs coussinets ou grains de bronze, les engrenages, courroies, tendeurs, cordes et chaînes.

514. *Des arbres et des paliers.* Tout ce que nous avons dit des grains de cuivre des machines à vapeur, à l'article de la bielle (407), s'applique aux arbres et aux paliers qui les portent. Il faut les graisser régulièrement tous les jours avec de bonne huile d'olive, et encore mieux de pied de bœuf; et lorsque l'on est forcé d'employer des huiles de colza, il faut avoir soin de déboucher tous les jours les lumières des grains, parce que ces huiles forment un cambouis épais, et que le grain, s'il était sec, serait immédiatement rongé. Il faut aussi, surtout dans les moulins à blé, où il y a toujours une grande éva-

puration de farine, tenir les lumières fermées avec de petites chevilles de bois ou de fer, afin d'empêcher la poussière d'y pénétrer. C'est même une mesure très-sage que de fermer ainsi les lumières de tous les grains.

515. On ne doit pas serrer trop fortement les paliers dans lesquels tournent les arbres. Un tour d'écrou de trop donne aux machines une charge qui suffirait pour les arrêter si l'arbre était gros. Cet objet demande une surveillance très-active, surtout dans les ateliers où il y a de longues communications de mouvement, et où une petite perte de force, sur chaque palier, produit une somme considérable de frottements. (*Pl. 9, fig. 1 et 2*).

516. *Des grains.* Les grains de cuivre jaune ou laiton, employés quelquefois, ont le grand défaut de s'échauffer promptement, et d'être mangés en peu d'instant quand on les laisse frotter à sec. On emploie partout aujourd'hui, à cet usage, un alliage analogue au métal des cloches et des canons. Il est composé de :

66 parties de cuivre-rouge,

33 parties d'étain.

Quelques fondeurs n'emploient que 16 0/0 d'étain.

On peut, à défaut de cuivre rouge, y employer du laiton, mais l'alliage n'est plus aussi bon.

Cet alliage est beaucoup moins sujet à s'échauffer que le cuivre jaune, et remplace complètement celui-ci dans les grains, et même dans la fabrication des petits engrenages appliqués à un grand nombre de machines. Pour ce dernier objet l'on trouve dans le *Bulletin de la Société de Mulhouse* les proportions suivantes indiquées comme les meilleures et les plus économiques :

Cuivre rouge,	90 parties,
Etain,	10 parties.

517. *Graissage et réparation.* Quelques observations sur le graissage et le raccommodage des grains de bronze complèteront ce que nous avons à en dire.

Lorsque les grains sont bien entretenus, ils peuvent durer très-longtemps ; mais, pour cela, il faut les graisser souvent, toutes les douze heures au moins, et quelquefois plus fréquemment quand ils fatiguent beaucoup, ou que les tourillons qu'ils portent ont une très-grande vitesse. Ceux des crapaudines qui portent les arbres verticaux, ou des fusées de moulin, pouvant rester constamment pleins d'un mélange d'huile et de graisse, ne demandent pas autant de soin ; il suffit de renouveler le mélange quand il vient à s'épaissir. Plusieurs meuniers assurent qu'en mêlant du sel à la graisse dont on remplit les crapaudines de cuivre, on les empêche de s'échauffer : le fait est possible, nous ne saurions l'affirmer : nous n'y avons au reste trouvé aucun inconvénient.

518. Les clavettes qui pressent les grains, ne doivent pas être trop serrées, afin qu'il reste toujours une légère couche d'huile ou de graisse entre le tourillon et le cuivre, car dès qu'ils frottent à sec, ils s'échauffent et se détruisent. Il faut en outre les garantir soigneusement de la poussière ou du sable qui les rayeraient et augmenteraient le frottement. Aussi doit-on éviter de nettoyer les grains, et surtout ceux du parallélogramme, avec de l'émeri ; et si on était obligé de le faire, il faudrait les frotter d'huile à plusieurs reprises, pour n'en laisser aucune trace sur les cuivres (395). Si cependant quelque grain venait à s'user par défaut de surveillance, il faudrait, comme nous l'avons dit (408), tourner et limer de nouveau le tourillon de fer qui, en s'échauffant, s'est cou-

vert d'une couche de cuivre parce qu'il recommencerait à s'échauffer : et s'il est trop affaibli , le recharger d'une virole de fer mise à chaud , puis le tourner de nouveau. On ajoute ensuite au grain qui est usé , une épaisseur de cuivre soudé à l'étain, quoique la chaleur du frottement détache assez facilement ces lames, quand on n'a pas le soin de les mettre à queue d'hironde.

519. Pour recharger les grains usés , on les nétoie parfaitement, et on dresse leur surface intérieure; on y entaille à queue, la place de l'épaisseur qui doit être faite d'une feuille de cuivre jaune , très-propre. Le cuivre rouge est trop tendre , on l'y ajuste. (*Pl. 5, fig. 7.*) On étame ensuite le grain et l'épaisseur assez fortement , on les applique l'un sur l'autre à chaud , et en passant un fer à souder, on les réunit ensemble ; enfin on soude encore à l'étain tous les bords de la feuille , en faisant couler la soudure dans les espaces vides, et ceux qui n'ont pas pris : ensuite on lime et ajuste le tout. Un grain ainsi rechargé peut durer longtemps encore.

Nous avons déjà fait observer , en parlant du parallélogramme (395), que l'entretien des grains est de la plus haute importance, non seulement pour que la machine n'éprouve pas de secousses, mais encore, pour que le parallélogramme ne se dérègle pas. Il est évident que les grains, en s'usant, changent les niveaux des pièces qu'ils supportent. Ce doit être l'objet d'une attention toute particulière.

520. *Des grains en bois dur et des galets.* On remplace quelquefois ces grains de cuivre par des grains en bois dur, comme le gayac ou le sorbier : ils sont plus économiques et s'usent moins vite. Mais le tourillon de l'arbre est à son tour mangé, ce qui est un inconvénient beaucoup plus grave, puisque l'on ne peut pas remplacer un tourillon comme on remplace un grain. Quand la charge est très-légère , et la vitesse de l'arbre petite , on peut cependant employer avec

succès des grains en bois; on s'est même servi de grains en étain dans quelques cas, ils sont plus chers que ceux de bronze.

521. *Des galets.* Il en est des galets sur lesquels on fait quelquefois tourner les arbres dans les machines à filer le coton, le lin et autres, comme des grains en bois. Quand ils sont grands, le frottement est certainement beaucoup moins considérable; mais il suffit qu'ils se dérangent pour devenir immédiatement très-mauvais, et leur raccommodage est toujours long et difficile. C'est un procédé qui n'est bon que pour des arbres qui ont une charge légère et une grande vitesse.

522. *Des grains en fonte et en acier.* On emploie utilement des paliers, entièrement en fonte, pour porter des arbres de fonte, chargés d'un grand poids, comme ceux des roues hydrauliques, parce que dans ce cas les grains de bronze s'écrasent sous la charge.

Nous avons employé aussi avec succès l'acier fondu pour faire des grains de crapaudines, et surtout de celles qui portent les fusées dans les moulins à blé. Lorsque ces grains sont en cuivre, la charge que leur donne le poids de la meule, du pignon et de la fusée, et la grande vitesse de cette dernière, les échauffe et les fore très vite, et cet échauffement donne un tel surcroît de charge, qu'il ralentit considérablement la vitesse du moteur.

En garnissant le fond de ces crapaudines avec de l'acier fondu, et le trempant très-dur, on obtient un frottement doux, régulier, et on n'éprouve jamais ni échauffement, ni usure. On s'en sert aussi dans les crapaudines des arbres verticaux; et on leur donne ordinairement une surface convexe. Le pivot en acier qu'elles soutiennent est alors maintenu latéralement par les joues de la crapaudine qui sont en bronze.

523. *Des engrenages.* Quant aux engrenages, ils doivent aussi être graissés régulièrement avec du suif mêlé de plombagine, et auquel il est bon d'ajouter du savon, et un peu d'huile pour le rendre plus gras. La graisse des os remplit encore parfaitement cet objet : on applique facilement cette graisse sur le côté travaillant des dents, à l'aide d'une brosse, et pendant qu'elles marchent, en ayant soin seulement de placer la brosse dans le sens où les deux roues s'éloignent l'une de l'autre, afin que si, par malheur, elle échappait de la main, elle ne soit pas entraînée entre les deux roues qu'elle pourrait briser. (514.)

524. *Du jeu que prennent les dents de bois.* Après avoir travaillé quelque temps, les dents de bois se dessèchent ordinairement, et prennent du jeu dans leurs mortaises, ce qui occasionne un bruit désagréable, et les expose à se briser. Il est facile d'en arracher alors les goupilles, de sortir les dents des mortaises, et de les y faire rentrer de force, en les callant avec du gros papier ou du carton.

Lorsque les dents en bois d'une roue sont usées de manière à engrener mal, ou quand un assez grand nombre en a été brisé par quelque accident, il vaut mieux renouveler entièrement toute la denture, parce que les dents nouvelles, à moins d'être diminuées considérablement sur leur épaisseur, ne s'accorderaient pas avec les anciennes, et seraient bientôt mangées.

525. *Des bois à employer pour les dents.* Les meilleurs bois à employer sont le gayac, le sorbier, l'alisier et le charme, parfaitement secs et durs, ou le bois de fer, s'il était moins rare; le bois de hêtre, employé très souvent parce que ceux que nous venons de citer sont plus chers ou plus rares, donne aussi de bonnes dents; mais il a le défaut de s'altérer et de passer promptement quand il est exposé à l'humidité, comme le sont quelquefois les engrenages placés sur les arbres des roues hydrauliques.

Quand ces bois sont trop nouveaux, on les fait bouillir dans l'huile, et l'on est moins exposé à les voir se retirer en se desséchant. Par ce procédé cependant ils deviennent quelquefois cassants. Au reste, lorsque l'on divise la denture d'une roue avec la rigueur qui est nécessaire, on peut être assuré que, fût-elle en bois moins dur que le hêtre, pourvu qu'il soit sec, elle durera très-longtemps, plusieurs années, par exemple. La conservation des dents dépend presque uniquement de l'exactitude avec laquelle elles sont divisées, et de l'invariabilité des arbres qui les portent, comme nous le montrerons plus loin.

526. *Des mortaises des dents.* Les mortaises que l'on fait ordinairement dans les roues sont droites, de sorte que le talon de la dent qui repose sur le cercle extérieur de la roue est coupé d'équerre. Il est impossible, avec ce genre de mortaises, de conserver intacte la denture d'une roue; les talons éclatent constamment, et alors les dents se dessèchent, et passent au travers de la mortaise. Nous avons évité ce danger, en faisant le hant des alvéoles en coin sur le travers de la roue (*pl. 9, fig. 9*), de manière que le talon coupé aussi en coin, et pris par les côtés dans la fonte, ne peut jamais se briser, ni les dents passer au travers.

Plusieurs mécaniciens ont été obligés de buriner les roues de fonte à dents de bois, pour donner cette forme conique à leurs mortaises, parce qu'aucune des dentures qu'ils y ajustaient ne résistait au travail. Nous conseillons aux manufacturiers qui se trouveraient obligés de remplacer souvent les dents de leurs roues, l'emploi de ce moyen, dont le succès est assuré, et qui, en définitive, est plus économique que le changement réitéré des dents, parce que celles-ci, fabriquées en bon bois, coûtent fort cher.

Les roues à dents de bois, qui ont plus de 0 m. 18 de couronne; ne doivent pas avoir une mortaise de toute leur

largeur. Le cercle de fonte de la roue en serait dangereusement affaibli; elle doit être divisée en deux par un anneau plein, de sorte que chaque dent de la roue est composée de deux dents de bois ajustées l'une auprès de l'autre et taillées ensemble.

527. *De la préparation et de la pose des dents.* En tout cas, ces dents doivent être débitées plus épaisses que ne l'exige le pas de la roue, parce qu'il arrive souvent que les mortaises ne sont pas parfaitement espacées, et l'on est obligé de regagner la division exacte sur les dents de bois (*Pl. 8, fig. 5 aaa.*) Elles doivent être ajustées avec soin et chassées à force, en prenant garde toutefois de briser la fonte; car si le bois est très-dur et très-sec, on serait exposé à fendre les roues, en chassant leurs dents, et même à les voir se fendre plus tard, si, ces roues étant exposées à l'humidité, les dents venaient à renfler; cependant elles ne sont jamais trop solidement fixées. On passe alors au travers de la queue des dents une goupille de fer *g*, qui les retient quand elles se dessèchent et prennent du jeu. Les goupilles donnent beaucoup de solidité aux dents, et lorsque les trous dans lesquels on les chasse ne sont pas trop larges, on n'a pas à craindre de les voir tomber dans les roues, auxquelles, en tout cas, elles ne feraient que peu de mal.

On ne peut prendre trop de précautions pour empêcher les dents de tomber, ou même de sortir en partie de leurs alvéoles; car, dans ce cas, la roue à dents de fonte, au lieu de s'engager dans l'intervalle des dents comme à l'ordinaire, est souvent forcée, par la dent qui s'échappe, à monter sur la dent la plus voisine, et fait ainsi le tour entier de la roue, en écrasant toutes les dents avec des secousses effrayantes; un effort de ce genre est plus que suffisant pour rompre plusieurs engrenages à la suite; et quelquefois même les machines qu'elles conduisent, ou celle qui les conduit. Il n'est

pas rare de voir ainsi une garniture entière d'engrenages à dents de bois raflée en un tour de roue, faute d'avoir vérifié ou rétabli la solidité d'une ou deux dents.

528. *Du tournage des engrenages à dents de bois.* Quand les dents sont parfaitement ajustées, on tourne la denture entière, si l'on est en position de le faire. Pour cela, on remplit les intervalles avec des coins de bois (*fig. 4, a*). Il est toujours plus facile de diviser exactement et de bien caler une roue lorsqu'elle est tournée; et il ne faut s'en dispenser que quand il est impossible de le faire.

En tournant une roue d'angle, on doit avoir soin de donner à la face supérieure des dents *a, b* (*fig. 7*) l'inclinaison exacte, déterminée par le rapport du diamètre des deux roues qui engrènent ensemble. Voici comment on trouvera l'inclinaison de ces dents, ou, autrement dit, l'angle que leur face supérieure *ab* fait avec la ligne *cd* ou une règle placée sur le côté de la roue, perpendiculairement à son axe.

529. On placera une règle sur le grand côté *ef* de la roue d'angle, à dents de fonte; puis, avec une faussée équerre, on prendra l'angle *feg* que forme cette règle avec le fond de l'intervalle des dents de fonte : on reportera cet angle *feg* sur un plancher, comme on le voit en *ihl* (*même fig.*); puis, au sommet de cet angle, on élèvera une ligne *hm*, perpendiculaire au grand côté de la roue de fonte; l'angle *lhm*, formé par cette perpendiculaire et le fond de l'intervalle des dents de fonte, ou, en d'autres termes, le complément de l'angle *feg*, ou de son égal *ihl*, que nous venons de prendre avec la faussée équerre, sera l'inclinaison de la face supérieure *ab* des dents de bois sur le grand côté *cd* de la roue à dents de bois. Le dessus de ces dents de bois coïncide, à quelques millimètres près, avec le fond de l'intervalle des dents de fonte, de manière qu'il n'y a pas d'erreur sensible à prendre l'inclinaison.

son du fond des dents de fonte pour celle du dessus des dents de bois. On fait alors un patron, formé d'une règle hm , qui peut se poser sur le grand côté de la roue que l'on tourne, et d'une autre petite règle hl , clouée solidement sur la première, et formant avec elle l'angle lhm que nous venons de déterminer. C'est ce patron qui sert à régler l'inclinaison de la surface des dents de bois, en ayant soin, lorsqu'on l'emploie, que sa direction passe toujours par le centre de la roue.

530. Dans le cas où l'on ne pourrait pas poser la règle sur le grand côté de la roue, il faudrait faire un patron avec deux règles inclinées entre elles, comme les faces supérieures ab et no : ces deux règles seraient clouées ensemble en g , et formeraient entre elles l'angle ago . Il sera facile alors de présenter le patron ago sur la roue pendant qu'on la tournera, en le faisant toujours passer par le centre.

On trace ensuite sur la denture la *ligne de portée*, c'est-à-dire le cercle de contact, ou le cercle primitif des roues bc , *fig. 3*. Dans les roues à petites dentures employées aujourd'hui, cette ligne de portée est placée à 20 millimètres du fond des dents, et à 14 ou 15 millim. de leur extrémité. Si l'on ne tourne pas la roue, on trace cette ligne avec un grand compas. C'est sur cette ligne que se fait la division des dents et le callage de la roue.

Si la roue est callée sur un arbre, et que l'on ne puisse pas porter au centre la pointe du compas, on marque sur une dent la place de la ligne de portée, et en faisant tourner la roue bien centrée et bien dégauchie, comme sur un tour, devant une pointe d'acier fixe, on trace cette ligne sur toute la circonférence.

531. *De la division des dents.* Pour diviser les dents, on prend sur la roue à dents de fonte, qui correspond à celle à dents de bois, que l'on divise, le *pas-des-dents*, c'est-à-dire la distance d (*fig. 3*) du milieu d'une dent au milieu de l'autre.

Ces espaces doivent être rigoureusement égaux sur toute la circonférence des deux roues ; car on sent qu'une légère erreur, répétée autant de fois qu'il y a de dents sur une roue, deviendrait très-grave. On sent aussi, que les dents de bois doivent, quand on les ajuste, être très-épaisses ; en effet, quoique les mortaises ne soient pas toujours parfaitement espacées, il faut néanmoins que la division des dents, faite avec la plus grande exactitude, tombe encore au milieu de la dent qui se trouve placée un peu de côté, et qu'il reste assez de bois pour donner à cette dent autant d'épaisseur qu'aux autres (voyez, dans la même figure, les alvéoles mal divisées, et les dents *a a a* que l'on y a ajustées). Il faut, en un mot, corriger sur les dents de bois l'erreur de division des mortaises. Si, en effet, la division tombait sur la dent *a*, de telle sorte que, depuis le centre de cette dent jusqu'à son bord, il ne restât pas une demi-épaisseur de dent, on serait obligé de l'enlever et d'en substituer une autre, dont le bois fût taillé de côté, comme l'indiquent les dents *a*, où la partie ponctuée montre la dent ajustée en premier lieu, dans la mortaise et trop étroite pour être divisée exactement. Ainsi coupée de côté, elle se raccordera avec la division de la roue.

Si cette opération n'était pas faite avec la plus grande précision, les dents de bois se mangeraient rapidement : cependant il est rare que les roues donnent rigoureusement une division conforme à la dimension du pas : il se trouve souvent, sur la circonférence entière, une erreur qui peut s'élever à quelques millimètres, surtout quand les roues sont grandes ; il faut alors répartir cette légère erreur sur toutes les dents, et elle devient inappréciable.

532. Que si les mortaises étaient assez mal espacées pour que l'on ne pût pas atteindre rigoureusement une division exacte des dents, sur toute la circonférence, parce que l'erreur commise sur l'une s'ajoute aux dents suivantes, et inappré-

ciable sur la première, devient bientôt considérable ; il faudrait partager la roue en plusieurs parties égales, en quatre ou huit parties, par exemple ; rechercher le pas qui diviserait exactement chacune de ces parties séparément. La différence de l'un de ces pas à l'autre serait alors si faible, qu'il deviendrait impossible de s'en apercevoir sur une dent seule, et d'en éprouver aucun inconvénient pratique ; en effet, lorsque deux roues engrènent et tournent ensemble, l'erreur légère d'une dent ne s'ajoute pas à l'erreur des autres.

533. *Mesure d'un pas employé dans plusieurs ateliers.* Plusieurs mécaniciens ont avec raison jugé utile d'adopter, pour le pas de leurs roues, une mesure commune : ils y ont, en effet, trouvé cet avantage, que leurs roues peuvent toutes engrener avec celles des autres ateliers qui emploient le même pas. Ainsi une mesure qui donne une force suffisante aux engrenages, et qui est usitée dans plusieurs ateliers de France et d'Angleterre, pour le pas des dents, est celle de 2 pouces anglais, ou de 0 m. 0508.

534. *Tracé de l'épaisseur des dents.* Quand une roue est ainsi divisée, et que le milieu de toutes les dents est marqué, on trace au compas leur épaisseur, qui doit être un peu moindre que l'intervalle laissé entre les dents de la roue de fonte. On y laisse ainsi un jeu de 2 à 3 millimètres environ, pour que les dents ne soient pas trop serrées dans leur marche, et ne se touchent pas par derrière (1). Pour tracer ces épaisseurs parallèlement à l'axe de l'engrenage, après avoir porté au compas la moitié de l'épaisseur, de chaque côté des centres, on le trace au crayon sur le bout des dents, et on

(1). Pour avoir l'épaisseur des dents de bois, on divise ordinairement le pas par 2,1. — On trouvera dans plusieurs auteurs des formules simples pour calculer l'épaisseur des dents, suivant le travail qu'elles ont à faire. Voyez Morin, Taffe, etc.

élève, par chacun de ces points de division, des lignes perpendiculaires, au côté tourné des dents; soit par exemple (fig. 6), une portion d'engrenage, de bois tournée, et *abcde* les points de division des dents. Il s'agit seulement d'élever sur ces points des perpendiculaires par le procédé géométrique ordinaire, ce qu'on nomme le *trait carré*. Or, comme la distance du bord *a*, d'une dent au bord semblable *e* de l'autre, est égale à la distance pareille de *c* en *d*, il suffit, si l'on veut élever, par exemple, une perpendiculaire en *c*, de prendre pour les centres des arcs de cercle qui se recoupent en *f*, les points *a* et *e*. En prenant ainsi successivement tous les points *abcde*, pour centre d'arcs de cercle, on élève par tous ces points des lignes perpendiculaires au côté de la roue, et par conséquent parallèles entre elles, si ce sont les dents d'un engrenage de champ, ou concourant toutes au même centre, si ce sont les dents d'une roue d'angle. On voit que, par ce moyen, la diminution de largeur des dents des roues d'angle de la circonférence au centre, se trouve facilement déterminée. Ce procédé est aussi rapide que sûr, parce que les divisions sont toutes faites d'avance.

535. *De leur courbure.* On refend les dents suivant ces lignes ainsi tracées, en se servant d'une lame de scie très-mince. On trace ensuite leur courbure, ce qui est plus exact. Pour cela, on pose la pointe du compas sur le centre *l* (fig. 5) d'une dent; on prend pour rayon la distance *lc* du centre de cette dent, au côté extérieur de la plus prochaine, et en traçant le cercle *emh*, on détermine à la fois la courbure de deux dents. Cette forme de dents, bien qu'elle ne soit pas rigoureuse, est assez exacte en pratique: facile à déterminer et à tracer. On fait la même opération, en prenant successivement pour centre, le milieu de chacune des dents. Il ne reste plus qu'à rectifier, suivant le tracé que l'on vient de faire, la division et l'épaisseur des dents, et à leur donner

la courbure au ciseau, ce qui vaut mieux que de le faire à la râpe, celle-ci produit souvent des dents dont les flancs sont arrondis, et ne sont en contact avec les dents de fonte que par quelques points : il faut, nous le répétons, donner aux dents des roues de champ ou roues droites, une égale épaisseur sur toute leur largeur, et les couper perpendiculairement au plan dans lequel tourne la roue, c'est-à-dire, parallèlement au bord des mortaises, et à l'axe de rotation de la roue, afin que, quand elles travailleront, les dents portent en même temps sur toute leur largeur, et que l'effort y soit parfaitement égal.

536. *De l'emploi des calibres.* Au lieu de tracer successivement toutes les dents, on peut aussi en tracer une seule, et faire un calibre en tôle ou en cuivre (*fig. 8*), qui ait la forme de la dent; et que l'on fixe au centre *a*, de la roue, par une tige de fer, comme à l'extrémité d'un grand compas. Ce calibre sert à tracer successivement l'épaisseur de toutes les dents, et à en vérifier la taille. Nous avons trouvé utile d'y fixer une double pointe de fer *b c*, qui, quand ce calibre est en place, va se poser sur les deux centres des dents les plus voisines, afin que l'écartement de toutes soit parfaitement égal; de sorte que l'espace *b c*, est égal à deux fois le pas de la roue, et que le centre du calibre coïncide parfaitement avec le centre de la dent à tracer. Un autre calibre (*fig. 5*), comprenant deux ou trois dents, et où les dents sont taillées en vide, sert à s'assurer qu'elles ont une épaisseur égale sur toute leur largeur, et à en déterminer la courbure.

537. Voici donc, en deux mots, la marche à suivre pour diviser un engrenage :

1° Le tourner en donnant aux dents des roues d'angle, l'inclinaison nécessaire, et prenant pour l'inclinaison de la face supérieure des dents de bois, le complément de l'angle que forme le fond des dents de fonte, avec le grand côté de leur roue.

2° Tracer la ligne de portée sur les dents de l'anneau de l'engrenage à la même distance que dans la roue à dents de fonte.

3° Diviser les dents de milieu en milieu, en prenant le pas sur la roue à dents de fonte.

4° Marquer leur épaisseur de chaque côté des centres des dents.

5° Reporter cette épaisseur sur le flanc des dents au moyen du trait carré et de perpendiculaires.

6° Refendre les dents à la scie.

7° Les rectifier et leur donner la courbure au ciseau; et à l'aide d'un calibre, où les dents sont coupées en creux.

538. Quand les dents sont ainsi taillées avec soin, il ne resté plus qu'à donner un coup de râpe à celles qui pourraient avoir de légers défauts; ce qui s'aperçoit facilement après que la roue a travaillé quelques instants. On n'oubliera pas qu'il est prudent de faire marcher les roues à bras d'homme pendant deux ou trois tours, pour s'assurer que rien ne peut se briser. Il faut surtout examiner si les dents ne se touchent pas par derrière, parce que, si elles étaient ainsi pincées, les frottements seraient beaucoup plus durs, et on serait quelquefois exposé à déplacer les arbres qui les portent. Un coup de ciseau ou de râpe corrigera aisément ce défaut.

Les dents des roues d'angle s'ajustent par le même procédé; mais elles doivent être plus épaisses à l'extérieur qu'à l'intérieur. Pour cela, le calibre toujours armé de deux pointes, qui se fixent sur le centre des deux dents voisines, doit déterminer la largeur des dents aux deux extrémités. Cette largeur est facile à trouver par le procédé du trait carré, que nous avons indiqué plus haut.

539. *Usure des roues d'angle callées sur arbre vertical.* On remarquera que les roues d'angle qui sont fixées sur des arbres verticaux, sont exposées à s'user très-rapidement

quand un frein en fer ou une embaso, ne les empêchent pas de glisser sur leurs clés: c'est ce qui arrive toujours lorsque la roue qui engrène avec elles se trouve placée au-dessus; parce que l'huile que l'on verse sur le tourillon de l'arbre vertical graisse les clés et les empêche de maintenir solidement la roue, que l'effort de l'autre engrenage pousse toujours en bas; dès que celui qui est horizontal a glissé d'une petite quantité, les dents de fonte, qui n'engrènent plus assez, forment immédiatement un bourrelet dans les dents de bois, et, s'appuyant sur ce bourrelet, qui augmente tous les jours, font descendre la roue de plus en plus.

540. *Du callage des roues.* Aujourd'hui, tous les engrenages grands et petits sont alaisés, et maintenus par une ou deux clés sur des arbres tournés, jamais ils ne peuvent ainsi se décentrer; leur montage est plus prompt et plus sûr.

Mais quelques manufactures peuvent encore avoir des engrenages callés sur arbres carrés, et dans les forges même beaucoup d'engrenages sont établis sur des arbres à pans. Il sera donc utile de donner la marche à suivre en pareil cas.

541. *Callage sur arbres carrés ou à pans.* Lorsque les engrenages doivent être callés sur des arbres carrés ou à pans, il faut pratiquer dans leur moyeu des entailles *bbb* destinées à recevoir et maintenir les calles, et par conséquent dressées et limées. Elles doivent être faites de telle sorte, que la calle qui s'y logera, ait de l'entrée d'un côté, et puisse cependant serrer également les deux rebords *abc* (fig. 7), qui existent dans le carré du moyeu, sur les deux faces de la roue. On place ainsi deux calles sur chaque face de l'arbre; mais on a soin d'en faire entrer une de chaque côté de la roue, l'une en *c*, et l'autre en *d*, afin que celle-ci ne puisse varier sur aucun sens. On voit facilement comment doivent être faites les calles *c* et *d*, pour porter en même temps sur les deux rebords *ab*, dont nous avons parlé. Ces clés seront limées avec tout le soin possible, et porteront également partout.

542. Pour caler parfaitement une roue, on la met d'abord sur huit fausses calles, indiquées en lignes ponctuées *ef* (fig. 7) et en *cc* (fig. 2) : ce sont de petits coins en fer placés sur chaque côté de la roue, et au milieu de chaque des faces de l'arbre, pour ne pas gêner ensuite l'ajustement et la pose des calles définitives *bbb*.

La roue étant ainsi solidement fixée, par ses fausses calles, sur l'arbre que portent sur ses deux tourillons, de manière à tourner facilement, on place à l'extrémité *d* du diamètre horizontal de la roue et à la hauteur de son axe, une planche dressée et clouée solidement sur quelques pièces de bois (fig. 9) : en prenant avec un compas la distance de la ligne de portée de la roue *a* (fig. 9) à une ligne quelconque *be* tracée en face sur la planchette, faisant tourner la roue, répétant la même opération, d'abord aux deux extrémités du diamètre *e d*, puis aux deux extrémités du diamètre *fg*, perpendiculaire au premier, et desserrant ou serrant au besoin les fausses calles d'une petite quantité à la fois, et avec patience, on amène bientôt la roue à tourner rond. Il ne faut pas ici se contenter d'une approximation ; les roues ne sont jamais trop bien centrées et dressées, autrement les frottements sont considérables et les dentures s'usent rapidement. Une grande roue sur arbre carré ne doit pas avoir un millimètre de faux rond.

543. Il faut aussi, pour que les roues engrènent et marchent bien, que la ligne de portée ou les cercles primitifs des deux roues coïncident parfaitement, parce que c'est sur ces deux cercles que les roues ont été divisées, et que les pas sont égaux. Si l'un des cercles primitifs entrerait dans l'autre, ou s'ils ne se touchaient pas, les engrenages ne marcheraient plus aussi bien.

Quand l'engrenage est à peu près centré, on place une règle sur le côté des dents, ou, si elles ne sont pas tournées,

sur le côté du cercle de fonte de la roue, en se dressant sur une de ses faces, successivement aux deux extrémités des mêmes diamètres, que l'on a soin de marquer avec de la craie. Cette règle porte sur la planchette : on s'en sert, ainsi posée, pour y tracer une ligne *ad* (*fig. 9*) qui donne la direction de la roue, quand le côté *d*, par exemple, est près de la planchette. Prenant alors le côté opposé *c* de cette roue, on y replace la règle : on trace une ligne semblable, et si elle ne recouvre pas exactement la première, et qu'elle tombe, par exemple, en *ef*, il est évident que la roue n'est pas bien dressée (à part l'erreur inévitablement due aux défauts de coulage de la fonte, qui n'est pas tournée), et l'erreur dans la position de la roue est alors égale à la moitié de la différence de direction des deux lignes tracées sur la planchette; c'est-à-dire que la roue sera bien dégauchie quand la règle, placée sur le côté de la dent, coïncidera avec la ligne *gh*, qui se trouve exactement au milieu des deux lignes *ad* et *ef*. On fait la même opération sur les côtés *f* et *g* de l'engrenage, etc. On dresse ainsi la roue au moyen des fausses calles, et sur les quatre faces de l'arbre, jusqu'à ce que les lignes tracées sur la planchette par la règle, ne donnent plus une erreur sensible dans son dégauchissement. Quand l'engrenage est horizontal comme les grands rouets de moulin, il est plus facile encore de le dégauchir avec une règle et un niveau à bulle d'air.

On vérifie de nouveau le centrage que l'on a fait en premier lieu. Lorsque enfin la roue est parfaitement centrée et dégauchie, on ajuste les véritables calles dans leurs entailles. Le moyen le plus court et le plus sûr est d'y ajuster d'abord des calles de bois, qui servent d'étalon pour forger et limer les calles de fer : celles-ci ne demandent plus alors qu'un dernier coup de lime pour porter également partout. On les met en place, et lorsque toutes s'y trouvent, on les serre à refus, à coups de marteau, en prenant garde, toutefois, de faire

éclater le moyeu de la roue, et l'on enlève les fausses calles, après avoir vérifié une dernière fois si la roue est bien centrée et dressée.

544. Les engrenages qui supportent de grands efforts doivent être callés avec de l'acier, et avoir le noyau rempli de mastic de fonte, qui maintient parfaitement les calles.

Le callage des roues sur arbres carrés est une opération délicate, parce que des roues gauches, quelque bien taillées qu'elles soient, fatiguent les paliers et les grains, occasionnent des frottements et des décompositions de force considérables, et usent rapidement les dentures.

545. *De la nécessité de fixer invariablement les paliers.* Celles-ci sont aussi quelquefois mangées, parce l'un des paliers qui porte l'arbre de la roue, n'est pas solidement fixé, et qu'il recule lentement sous l'effort. Pour le rendre invariable, quand les boulons en sont inébranlablement scellés, il faut qu'ils n'aient pas de jeu dans les trous du palier, ou s'ils en ont, il y faut mettre une calle de fer, du côté où l'effort des roues tend à repousser l'arbre; sans quoi la roue à dents de fonte pourrait encore, comme nous l'avons dit, échapper aux dents de bois, monter dessus, et les écraser toutes en un seul tour.

546. *Des cordes.* Nous ne dirons rien des cordes que l'on emploie encore souvent dans les transmissions de mouvements, parce que partout où il n'y a pas impossibilité, il faut les remplacer par des courroies, et ne s'en servir que pour des treuils, etc. On ne saurait croire combien les machines consomment moins de force, et fatiguent moins avec des courroies qu'avec des cordes. Ces dernières en effet ne peuvent jamais avoir la flexibilité de bonnes courroies: on est obligé de les faire marcher dans des gorges de poulies triangulaires et profondes, où elles sont toujours serrées des deux côtés; comme elles ne frottent que par deux arêtes, ou au plus par

une très-petite surface sur les poulies, il faut les tendre beaucoup plus fortement pour les empêcher de glisser; enfin elles sont bien plus sensibles que les courroies aux variations de l'humidité atmosphérique, et elles se tendent et se détendent avec une grande facilité, ce qui augmente encore les frottements en donnant aux arbres une charge inutile. Dans les ateliers où l'on emploie beaucoup de cordes, on voit, par les temps humides, la vitesse des moteurs se ralentir par la tension que prennent toutes les cordes; elles s'usent en outre bien plus vite, et coûtent définitivement beaucoup plus d'entretien. Cependant les cordes sont bonnes pour des mouvements légers, et surtout quand il faut les croiser. Pour transmettre le mouvement entre deux axes qui ne sont pas parallèles, les courroies ne se tordent pas aussi bien. En tout cas, le meilleur moyen d'assembler les deux bouts d'une corde n'est pas de les épisser, ce qui est trop long à faire ou à changer. Il faut coudre à chaque extrémité un bout de cuir, et passer au travers un double crochet de fer. On peut ainsi raccourcir à volonté la corde pour la tendre.

547. Des courroies. Le choix des cuirs destinés à faire des courroies est fort important. Quelques manufacturiers préfèrent les cuirs blancs, parce qu'ils sont moins chers; mais, n'étant pas tannés comme les cuirs noirs, et seulement pénétrés de sels et de graisse, ils sont très-sensibles aux changements de la température et de l'humidité atmosphérique; ils varient par conséquent de longueur tous les jours, ce qui exige un changement fréquent, dans les boucles, ou donne une forte charge aux machines, quand ils se raccourcissent; en somme ils finissent par s'allonger considérablement sous la charge: pour peu qu'ils soient larges, ils s'allongent inégalement, et deviennent assez gauches pour ne pouvoir plus tenir sur les poulies. Les courroies de cuir noir, bien tanné, doivent toujours être préférées; il est important de les choisir égales d'é-

paisseur pour qu'en s'allongeant, elles ne gauchissent pas. Lorsqu'elles ne doivent pas être démontées souvent, on en coud les deux extrémités avec une lanière de cuir, arrêtée par un nœud : de cette manière, les courroies ne se déchirent pas comme avec des boucles. Mais quand le besoin d'en changer souvent la longueur, exige l'emploi de boucles, comme dans les filatures, il faut leur donner deux ou trois ardillons, pour déchirer moins fréquemment la courroie, et avoir soin de placer la boucle de manière que l'ardillon monte toujours sur le tambour à reculons, c'est-à-dire, la pointe en bas : s'il montait la pointe en haut, il pourrait souvent accrocher les vêtements des ouvriers, et les entraîner autour des tambours.

548. *Conditions pour bien marcher.* Pour que les courroies marchent bien et sans glisser, il faut deux conditions : l'une, que les arbrés qu'elles conduisent soient assez éloignés l'un de l'autre, et que la courroie puisse être lâche et conduire la poulie par son propre poids, car si elle était trop tendue, elle donnerait un tirage considérable au moteur. Nous avons vu des arbres de manège casser par la tension d'une courroie. Dans les établissements où l'on emploie un grand nombre de courroies, il y faut donner la plus grande attention. L'autre condition est d'avoir, pour ne pas glisser, une vitesse suffisante, qui ne doit pas être au-dessous de 1 mètre par seconde.

Si l'on s'aperçoit qu'une courroie s'allonge constamment, ce qui a lieu lorsqu'elle fait un grand effort et qu'elle marche lentement, il faut la doubler; quand elle est trop faible, elle continue à s'allonger aux dépens de son épaisseur et de sa largeur, et à s'affaiblir de plus en plus jusqu'à ce qu'elle rompe. Une courroie, double au contraire, ne fatigue pas, ne s'allonge jamais, et ne demande pas à être tendue aussi raide; celles des tire-sacs employés dans les moulins à

blé, par exemple, doivent toujours être doublées et quelquefois triplées.

549. *De leur entretien.* L'entretien des courroies, consiste principalement à les graisser de temps en temps, tous les deux ou trois mois, par exemple, quand on s'aperçoit qu'elles commencent à sécher, à devenir rudes à la surface qui frotte sur le tambour, et à glisser. Si on ne les graissait pas, elles s'échaufferaient promptement en glissant sur le bois, se brûleraient et casseraient bientôt. La meilleure composition pour les graisser est celle-ci :

Huile de poisson,	4 parties ;
Poix résine,	1 partie ;
Goudron,	1 partie.

fondues ensemble, et passées à chaud sur le cuir.

550. *De la pose des tambours et poulies destinés à porter des courroies.* On voit, dans beaucoup de manufactures, les courroies glisser toujours hors de leurs poulies : et l'on est alors obligé de les maintenir, au moyen de rouleaux ou de morceaux de bois contre lesquels elles frottent et s'usent considérablement ; on peut être alors assuré, que les deux arbres des tambours ne sont pas parallèles. Le meilleur moyen de rétenir les courroies sur les poulies et le seul que l'on doive employer, c'est de donner tous ses soins à placer parallèlement les axes des tambours ou des poulies de commande, et ceux des métiers, et on ne saurait le faire trop bien, jamais alors une courroie n'échappe ; on n'a pas besoin de lui donner autant de tension, et elle s'use et se déforme moins : si cependant les arbres cessaient d'être parallèles, parce qu'un des grains de cuivre se serait limé, et que l'on n'eût pas le temps de le raccommoder, ou de mettre une épaisseur au-dessous, la courroie monterait de suite sur le tambour du côté le plus haut, et elle tendrait à s'échapper de la poulie. Il ne faut

pas y mettre de guides, mais clouer sur le tambour exactement en face du milieu de la poulie, une petite lanière de cuir de 10 millimètres environ de largeur. Cette lanière forme un léger bourrelet sur lequel la courroie se met immédiatement à cheval, pour ne le jamais quitter.

Un des grands avantages que présentent les courroies est de pouvoir transmettre le mouvement dans tous les sens, sans appareils compliqués et avec peu de frottement; on s'en sert même pour le communiquer entre deux arbres verticaux. Dans ce cas, il faut mettre sur chaque arbre un tambour conique, et tourner ces deux cônes en sens opposés, parce que la courroie tendant à monter à la fois sur les deux cônes qui sont en sens contraire, ne peut pas se déranger de sa position.

551. *Des chaînes.* On emploie aussi quelquefois des chaînes en fer ou en bois, pour transmettre le mouvement; mais ce procédé, remplacé presque partout par les courroies, ne doit jamais être adopté que lorsqu'il est impossible de se servir de courroies ou de cordes: si, par exemple, il fallait prendre du mouvement sur l'arbre toujours mouillé d'une roue à eau, etc. Il est alors très-important de placer les poulies dentées sur lesquelles marche la chaîne, parfaitement à l'aplomb l'une de l'autre, pour que la chaîne ne tende pas à sortir des dents.

CONDUITE DES MACHINES A VAPEUR.

552. *De la nécessité de réparer immédiatement les accidents.* La première pensée qui doit se présenter à l'esprit des manufacturiers, et principalement de ceux auxquels le haut prix du combustible fait une loi de se servir des machines de Woolf, c'est que la négligence dans leur entretien, un court

délai dans la réparation d'un accident souvent léger, entraîne immédiatement une diminution dans la force de la machine. Une des clavettes de la tige du piston, peut s'échapper si l'on a négligé seulement de l'ouvrir, et le piston briser par suite le balancier (384). Des masticages mal entretenus permettent à l'air de pénétrer dans les tuyaux et le cylindre, et alors la quantité de houille brûlée, c'est-à-dire, la plus forte dépense d'une machine, s'élève quelquefois au double (173). Une chaudière est devenue trop sale sans que l'on pense à la nettoyer, et les chauffeurs sont obligés de faire le feu le plus violent pour soutenir la vapeur à sa pression ordinaire. La consommation de la houille augmente dans un rapport bien plus grand que l'excès de force obtenu; la machine fatiguée s'use rapidement, et presque toujours on voit dans ce moment de travail excessif les bouilleurs brûlés par suite de la haute température à laquelle ils sont portés. En un mot on est entraîné inévitablement dans de longs et coûteux chômages, pour avoir voulu éviter une faible réparation de quelques heures; et l'on expose la machine aux accidents les plus graves, et même à des altérations profondes et irréparables.

553. *De la surcharge des machines.* Un autre danger auquel les machines à vapeur sont beaucoup trop souvent exposées, c'est une imprudente surcharge: quel que soit leur système et leur construction, elles ne peuvent résister longtemps à un travail excessif. Les masticages se détruisent sous l'action puissante de la vapeur à haute pression; les ressorts des pistons se fatiguent; tous les grains de bronze se liment lentement; les ajustements se détruisent; enfin on subit les inconvénients d'une charge forcée, c'est-à-dire, de fréquents accidents et de continuelles réparations.

Le haut prix des machines à vapeur engage constamment le propriétaire d'un établissement qui se forme, à se régler toujours sur ses besoins actuels; et dès que l'établissement

prospère, la nécessité de l'accroître fait surcharger la machine, si elle est assez bonne pour le supporter. Nous ne saurions engager trop fortement les manufacturiers, à se réserver un large excédant de force, dans l'achat des machines, et à maintenir toujours leur charge, plutôt au-dessous qu'au-dessus de celle dont elles sont capables. Ils y trouveront certainement un grand avantage, soit par la diminution des frais d'entretien, soit surtout par l'absence des chômages inévitables avec une machine surchargée. Nous reviendrons sur cette question (43-71).

Une bonne machine à vapeur doit donner un travail constant et même fort, mais elle exige en retour des soins assidus, et d'autant plus grands qu'on lui demande plus d'efforts. Sous une faible charge, quel que soit son système, sa marche est toujours régulière et facile. C'est lorsqu'elle est chargée comme l'exigent les besoins d'une entreprise active, et menée économiquement; c'est surtout, comme nous venons de le dire, quand la prospérité de cette entreprise lui impose une surcharge de travail, imprévue à son établissement et inévitable, que les soins et l'exacte surveillance doivent redoubler, et qu'il la faut, pour ainsi dire, nourrir et entretenir, en proportion des services qu'elle rend, et des chances bien plus nombreuses de maladies auxquelles elle est exposée.

554. *Des défauts que doivent éviter les propriétaires de machines à vapeur.* Plus d'un établissement a échoué, a renoncé à l'emploi des machines à vapeur, parce que leurs directeurs n'ont pas su conduire ces machines, et en obtenir, avec économie, tout le travail dont elles sont capables. Les uns abandonnent entièrement leur moteur aux soins des chauffeurs, sans se rendre compte de ses frais journaliers de consommation ou d'entretien, et de son travail réel; d'autres le surchargent hors de toute mesure, et attentifs seulement au temps et à la quantité du travail, ne s'inquiètent ni de la

grande consommation de combustible, ni des frais énormes d'entretien en graisse, mastic, main-d'œuvre, raccommodages, ni de la détérioration de la machine même, et vont ainsi en avant, jusqu'au moment où il faut enfin suspendre pour longtemps ses travaux, et où ils ajoutent, à des dépenses superflues et mal appliquées d'entretien, de nouvelles dépenses de réparation, qui eussent été aussi faciles à éviter que les premières. D'autres encore, frappés de la somme des frais journaliers d'entretien nécessaires à l'activité d'une machine, et ne calculant pas les effets de leur suppression, et la perte qui en résultera dans sa puissance, se refusent à toute dépense autre que celle du combustible, et se contentent de profiter du travail de la machine tel qu'elle peut le fournir, sans aucune de ces précautions d'hygiène, qui entretiennent la santé et la vigueur, et qui attaquent, au moyen des remèdes simples, une maladie naissante, pour n'avoir pas à la combattre dans son développement, par un traitement long, difficile et coûteux. On en voit enfin qui portent jusqu'à la minutie l'excès des soins à donner à leur machine, y emploient tout le temps qu'elle devrait occuper au travail, l'arrêtent à chaque instant pour la cause la plus insignifiante, et, trompés sur le but qu'ils doivent se proposer, laissent de côté la quantité définitive de travail du moteur, qui doit être le résultat final de tous les calculs, pour ne penser qu'à la perfection de sa marche, quelque coûteuse qu'elle puisse être en dépenses diverses et en chômages ; tout importantes que soient les réparations immédiates d'une machine, il en est qui, par la perte de temps dont elles sont la cause, coûtent beaucoup plus qu'elles ne valent réellement.

555. *Du but qu'ils doivent se proposer.* La grande difficulté, dans cette question, est de bien déterminer quels sont les défauts qui n'offrent aucun danger présent, ou qui ne s'aggravent pas rapidement, et quels sont ceux dont la correction

n'admet aucun retard. C'est de savoir apprécier d'avance le temps nécessaire pour une réparation, la combiner avec quelques autres, profiter des arrêts obligés, pour remettre complètement la machine en état, et prévoir même les altérations futures. C'est d'employer tous les moyens possibles pour abréger les chômages forcés; dans les manufactures rien n'est plus cher qu'un chômage; aucun ennemi n'est plus dangereux que le temps perdu; et autant une machine qui marche sans chômage et avec une grande régularité présente d'avantages, souvent même sur les cours d'eau, autant une machine qui ne peut marcher qu'à demi-charge, ou qui est fréquemment arrêtée, entraîne le propriétaire dans des dépenses, et de fâcheux retards que des soins légers, mais constants, auraient détournés. Enfin la surveillance et l'entretien éclairé des machines sont tellement importants, que le manufacturier actif doit s'assurer chaque jour par lui-même si sa machine est en bon état, si le service se fait régulièrement et avec attention; et indiquer les objets qui pourraient avoir besoin d'une réparation immédiate et ceux dont on doit s'occuper au prochain nettoyage. Nous allons marquer les principaux points sur lesquels doit porter spécialement cet examen, qui ne demande que quelques instants au manufacturier, appelé nécessairement ailleurs par les travaux d'une administration bien conduite.

556. *De la propreté à exiger des chauffeurs.* La première condition à exiger du chauffeur est une grande propreté, soit dans la chambre de la machine, soit sur la machine même. Non seulement on n'y doit voir aucune tache de rouille, mais toutes les traces de graisse doivent être essuyées avec soin chaque jour, pour qu'en séchant elles ne forment pas dans tous les ajustements, et surtout dans les grains, un cambouis épais, qui bouche leurs lumières, et les expose inévitablement à tourner à sec et à être rongées souvent en quelques heures.

Cette cause, en effet, est presque toujours due à la destruction des grains. Lorsqu'une machine est tenue avec une propreté minutieuse, on aperçoit aussi plus facilement, au premier coup-d'œil les avaries qui pourraient y survenir, comme l'usure des grains, le desserrement des clayettes, le mauvais état des masticages et des étoupes, les marques que les grains de sable peuvent laisser sur les tiges des pistons, etc. Enfin l'habitude de la propreté rend les chauffeurs attentifs, et en soignant une machine dont la chambre est peinte et bien netoyée, dont toutes les pièces sont polies et brillantes, ils ne peuvent manquer d'apercevoir et de rétablir immédiatement ce qui vient à se déranger; ils s'y attachent même: elle devient pour ainsi dire leur propriété, une partie d'eux-mêmes, et ils finissent par la soigner, la choyer autant par affection et par amour-propre que par devoir.

557. *Nétoyage de chaque semaine.* Outre cet entretien journalier, la machine subit une fois par semaine un nétoyage général, c'est le moment que le manufacturier doit choisir pour passer en revue toutes les pièces, faire regarnir les boîtes à étoupes (374), recharger les grains usés, roder le robinet d'introduction (422), les soupapes de sûreté de la chaudière (308), celles de la pompe alimentaire (347), et celles de la pompe du puits (479), en renouveler au besoin les cuirs, nétoyer à fond le fourneau et la chaudière aux époques réglées, remédier enfin à tous les défauts qu'il a remarqués pendant la semaine.

Ce nétoyage doit être fait le dimanche matin. Il est beaucoup plus facile pendant que la machine est encore chaude, et entraînerait en outre une grande perte de temps, si on l'ajournait au lundi.

558. *De la clôture des fenêtres et des portes.* Les portes et fenêtres de la chambre doivent toujours être fermées avec soin, attendu que les pertes de chaleur qui ont lieu par toutes

ces ouvertures sont considérables ; il est même utile de mettre de doubles fenêtres, ou au moins des carreaux doubles à cette chambre, pour éviter la déperdition de chaleur occasionnée par les vitres. On se fera une idée de l'importance de cet objet en calculant que, dans la chambre d'une machine où la température est constamment en hiver de 28 à 30 degrés centigrades, ce qui fait une différence de 33 degrés, en ne supposant la température extérieure qu'à 3 degrés audessous de zéro, si la surface des vitres est de 6 mètres carrés, ce qui n'est pas encore suffisant pour avoir une abondante clarté, on perd au moins par les vitres, en vingt-quatre heures, autant de chaleur qu'il en faudrait pour échauffer de 33 degrés environ 1400 k. d'eau, ou toute la quantité de chaleur que fournissent 72 k. de vapeur ou 15 k. de houille environ. Cette perte très importante, parce qu'elle est constante et inutile, peut être presque entièrement évitée par de doubles carreaux. La température de cette chambre s'élève quelquefois en été à 40 ou 50 degrés, mais on la supporte sans peine, parce que c'est une chaleur humide.

559. *Précautions à prendre pour ne pas fatiguer les pièces de la machine.* Le chauffeur ne doit se servir que d'un marteau de cuivre pour enfoncer les clayettes ; un marteau d'acier les écrase et les détruit en peu de temps : il doit prendre aussi les plus grandes précautions pour conserver le poli et le bon état de toutes les pièces. Il doit se fabriquer des clés à fourche pour chaque espèce d'écrou, parce que les clés anglaises, qui sont très-utiles à un ouvrier monteur quand il serre des boulons une seule fois, écrasent et détruisent les angles des écrous, lorsque l'on s'en sert fréquemment. Il est enfin nécessaire qu'il ne s'écarte jamais de sa machine que pour alimenter le fourneau, s'il est placé au dehors, et qu'il reste toujours en surveillance, prêt à resserrer une clavette, à ralentir ou accélérer la machine ou le feu, s'ils en avaient

besein ; en un mot, à parer aux accidents imprévus qui peuvent se présenter, et à en prévenir à temps les suites.

560. *De la visite du propriétaire.* Après ces soins généraux, nous devons indiquer au manufacturier sur quels objets son attention doit se porter le plus particulièrement, et quels sont les principaux symptômes auxquels il reconnaitra, dans une visite rapide, le bon état ou le dérangement de sa machine.

Les pièces à examiner sont principalement :

561. *Examen du condenseur.* 1° Le condenseur (455).

Il ne doit pas donner d'air à chaque coup de piston, ou tout au plus quelques légères bulles, provenant de l'air dissous dans l'eau du puits. Ce bouillonnement d'air est facile à apercevoir.

Nous avons indiqué précédemment le moyen de corriger ce défaut, qui provient des masticages du grand plateau, ou des boîtes à étoupes, ou de la boîte à vapeur du grand piston, ou du tuyau du condenseur.

La température de l'eau ne doit pas être au-dessus de 38 ou 40 degrés centigrades ; on doit pourvoir y plonger la main sans se brûler. Il faudrait chercher la cause d'une trop grande chaleur, ou dans le robinet du condenseur trop fermé, ou dans le puits et la pompe qui ne fourniraient pas assez d'eau, ou dans la vapeur qui passerait directement au condenseur à travers les pistons, ou dans une fente arrivée aux cylindres, ou dans une communication établie à travers les masticages entre les conduits de vapeur des boîtes.

562. *De la bielle.* 2° La bielle (407).

On s'assure, en appuyant la main sur la bielle pendant deux ou trois révolutions, et surtout aux passages supérieurs et inférieurs, que l'on n'y sent aucune secousse. S'il en existait au passage supérieur, elle proviendrait, ou d'une clavette du parallélogramme qui serait desserrée, et principalement celles des bras du grand et du petit piston : ou de celles de la tête

de la bielle qui seraient dans le même cas, ou enfin de ce qu'une des boules du balancier aurait pris du jeu. Quand les pistons ont du jeu sur leur tige, on entend aussi un choc au moment du passage supérieur; mais il est facile de juger qu'il a lieu dans les cylindres mêmes. Si la secousse a lieu au passage inférieur seulement, on peut être à peu près sûr qu'elle est due à ce que la clavette de la manivelle est desserrée, ou le grain usé. Ces secousses se manifestent aussi quand les soupapes de la machine ne sont pas bien réglées, et alors elles sont très-violentes.

563. *Des boîtes à vapeur.* 3^e Les boîtes à vapeur. (410.)

Un peu d'expérience suffit pour juger si leur marche est bien réglée et facile; si leur course est toujours la même, et si la grande manivelle des soupapes qui les soutient n'est pas descendue, comme cela a lieu souvent : car alors elle ferait à chaque course un effort sur le tiroir : leurs boîtes à étoupes doivent être toujours couvertes de suif fondu, pour s'opposer à l'entrée de l'air, et on doit toujours entendre la vapeur passer vivement d'une boîte à l'autre, et les coups de pistons s'y couper bien nettement.

564. *Du manomètre.* 4^e Le manomètre. (318.)

On le regarde pour voir si la vapeur n'est pas trop élevée, et si la machine enlève sa charge ordinaire, à sa pression habituelle. C'est une des indications les plus utiles pour reconnaître si elle est en bon état.

565. *De l'alimentation.* 5^e Le flotteur et la pompe alimentaire.

On s'assure que le flotteur fonctionne, que la chaudière ne se vide pas trop : on reconnaît que les soupapes de la pompe alimentaire marchent bien, en tâtant avec la main si, au moment de l'alimentation, le tuyau d'injection, qui est très-chaud quand la pompe ne marche pas, se refroidit, et prend la température de l'eau alimentaire. On doit aussi

entendre le choc net et bien tranché des soupapes, à chaque coup de piston.

566. *Des soupapes de sûreté.* 6^e Les soupapes de sûreté.

Sous aucun prétexte, elles ne doivent être chargées d'un poids nouveau : c'est un des objets de la plus sévère surveillance pour le manufacturier; de là dépend le salut de ses ouvriers et de sa machine. Si elles laissent échapper de la vapeur, on les rôde à l'émeri, au premier moment d'arrêt, parce que ce dérangement tient à un peu de rouille ou de saleté : et dans l'instant même, on les rôde légèrement à sec, avec une clé, en pressant leur levier avec la main, pour en écraser et dégager la poussière qui cause cette fuite.

Nous avons dit, en parlant des soupapes de sûreté, que l'on devait bien se garder de les soulever sous prétexte de prévenir leur adhérence, que c'était un moyen sûr de les salir et d'occasionner des pertes de vapeur. On trouvera plus loin, dans les observations sur les ordonnances relatives aux machines à vapeur, le développement complet des précautions qu'exige la conduite d'une machine à vapeur, en ce qui concerne les explosions auxquelles elles sont exposées. Nous en avons déjà parlé. (302.)

Enfin, après avoir examiné ces divers objets presque d'un seul coup d'œil, après s'être assuré que les grains de cuivre ne sont pas rongés, soit dans le parallélogramme, soit dans la bielle : que la machine est propre et fonctionne bien, le manufacturier doit écouter s'il n'entend aucun choc ou mouvement inaccoutumé, aucun sifflement extraordinaire de vapeur, afin d'en rechercher au besoin la cause. C'est un signe utile à suivre, parce qu'il s'opère rarement un dérangement grave dans une machine, sans qu'il ait été annoncé d'avance par des secousses, ou des bruits que l'on ne doit jamais négliger.

567. *Des qualités nécessaires au chauffeur.* Quant aux chauffeurs, la conduite d'une machine ne demande de leur part

qu'attention et régularité. Ce n'est pas un travail difficile, ni même fatigant, lorsqu'elle est entretenue régulièrement, et que tous les accidents sont immédiatement réparés; mais il faut, ce qui manque souvent aux ouvriers, de l'ordre, de la suite, et cette habitude, ce besoin de penser, de vouloir et d'agir par eux-mêmes, qualités qu'ils ne peuvent acquérir qu'en s'instruisant, qui seules cependant, font les ouvriers capables, les bons contre-maitres et les bons chauffeurs, leur permettent même de développer leurs talents, et de se créer un rang distingué dans la société. Le chauffeur intelligent doit examiner sans cesse sa machine, en rechercher à chaque instant les défauts, les corriger sans qu'il soit nécessaire de les lui indiquer; la soigner enfin comme si elle lui appartenait. Par cette activité et cette surveillance constante, bien plus efficace encore, quand elle a lieu, que la surveillance trop rapide du propriétaire, il saura mériter la confiance de celui-ci.

Voici quels sont les soins généraux que réclame une machine de la part du chauffeur.

568. *Du chauffage de la chaudière.* Quand il allume le feu sous la chaudière, après plusieurs jours de repos, il le fera lentement et deux heures avant le moment où il doit marcher, afin de pouvoir le ménager, et éviter ainsi tout accident. Il ne doit ouvrir le tiroir de la cheminée que de la quantité reconnue nécessaire pour conduire la machine: s'il l'ouvrait tout à fait sans nécessité, il s'exposerait à pousser le feu trop vivement, et au moins il ferait passer trop d'air dans le fourneau, le refroidirait, et consommerait ainsi plus de houille qu'il n'est nécessaire.

569. *Du graissage de la machine.* Pendant que la chaudière s'échauffe, il doit graisser toutes les pièces de la machine, en faisant tomber quelques gouttes d'huile dans chaque grain, ou en les frottant avec de la graisse suivant le besoin.

Pour bien huiler les grains, il ne faut pas oublier de desser-

rer préalablement les clavettes, et de déboucher les lumières que le cambouis aurait fermées. (395, 518.)

Les meilleures huiles que l'on puisse employer sont les huiles de pied de bœuf et d'olive, parce qu'elles sèchent moins que les autres. Pour les boîtes à étoupes on emploie du suif, ou de la graisse animale pure : et pour la manivelle, on mêle souvent cette graisse avec de la mine de plomb ou du talc pulvérisés et passés au tamis de soie. (514.)

Le graissage à l'huile, est si important que dans des expériences de Wood et Stephenson, sur les frottements des axes de fer avec leurs coussinets, le nombre de révolutions que les axes pouvaient exécuter sous un effort donné, se réduisaient de 2, 38 à 37 quand on les laissait tourner quelque temps sans être graissés. L'huile de pied de bœuf est bien supérieure aux graisses.

570. *De l'expulsion de l'air des cylindres.* Quand la vapeur commence à se former, on ne doit pas oublier d'ouvrir les robinets de graissage placés sur les plateaux, pour laisser échapper l'air contenu dans les cylindres; et, la manivelle étant horizontale, de tenir quelques minutes ouvert le robinet d'introduction de la vapeur, pour donner issue à l'air contenu dans la chemise et dans la chaudière; l'air des cylindres, s'il y était renfermé, prendrait en s'échauffant une tension considérable qui, en s'ajoutant à celle de la vapeur, pourrait occasionner des accidents, et détruire au moins les masticages.

571. *De la mise en activité de la machine.* On ferme tous les robinets quand l'air est entièrement sorti, et que la vapeur est déjà haute; et lorsqu'elle s'est enfin élevée à la tension que l'on sait être nécessaire pour enlever la charge de la machine, toutes les pièces ayant été préalablement graissées avec soin, on ouvre le robinet d'introduction et celui du condenseur, on pousse en même temps la machine à l'aide du

volant. Ordinairement, lorsqu'elle est froide, elle a quelque difficulté à se mettre en mouvement, parce que le vide n'est pas encore fait dans le condenseur, et qu'elle ne prend toute sa puissance et une marche assurée qu'après trois ou quatre révolutions.

Au reste, les machines deviennent quelquefois difficiles à mettre en marche, parce que la boîte à étoupes du condenseur, n'étant plus assez garnie, y laisse rentrer de l'air, et que le vide ne s'y peut pas produire aussi longtemps que cette boîte n'est pas couverte d'eau. Il faut alors jeter un ou deux seaux d'eau dans le condenseur, et la pompe travaillera immédiatement. (403)

Dans les fortes machines, on a soin de conserver, à la conférence du volant, des trous où l'on peut engager des leviers de fer, pour le pousser au besoin. On n'oubliera pas, pour rendre plus facile le départ de la machine, de placer d'avance la manivelle un peu au-delà de son passage supérieur ou inférieur, afin que la vapeur entre librement dessus ou dessous les pistons, pour les presser, et qu'en outre le balancier puisse pousser la manivelle avec plus d'avantage que si elle était tout à fait verticale.

572. *Du graissage des pistons.* Quand la machine marche, on serre avec un maillet toutes les clavettes, et avec une clé les boîtes à étoupes, on graisse les pistons. A cet effet, on fond du suif dans une burette de fer blanc, qui reste toujours sur le cylindre de la machine; on en remplit l'entonnoir des robinets placés sur les plateaux du grand et du petit cylindre, et saisissant le moment où les pistons remontent, on ouvre rapidement et un seul instant du robinet en ayant soin de le refermer avant que le piston ne commence à descendre. Le vide qui s'opère à cet instant dans le cylindre aspire immédiatement le suif fondu qui graisse les pistons. Pour éviter la petite difficulté que présente cette opération, on a établi sur

les plateaux des robinets doubles, entre lesquels est une capacité que l'on remplit de suif; puis, fermant le robinet du haut, et ouvrant celui du bas, on graisse sans peine à tout moment indifféremment.

Si l'on ouvrait un des robinets pendant que les pistons descendent, c'est-à-dire lorsque la vapeur arrive dessus, elle chasserait violemment en l'air le suif fondu, et l'on pourrait être brûlé. Quelques mécaniciens pensent qu'il vaut mieux graisser les pistons le soir, pour que la graisse reste dans le cylindre.

573. *Présence du chauffeur à sa machine.* Lorsque la machine est en activité, le chauffeur ne la doit quitter que le temps nécessaire à l'entretien du feu, s'il s'en éloignait inutilement, une clayette, ou une vis qui se desserrerait et tomberait sans être aperçue ne serait souvent pas sans danger, et en tout cas il doit être prêt à arrêter la machine s'il arrivait, soit dans les ateliers, soit dans la machine même, un accident imprévu. Cependant, dans les grandes chaleurs de l'été, il est difficile d'y rester constamment; mais il doit au moins la visiter souvent et s'en tenir à portée.

574. *La machine fermée aux ouvriers.* Nous conseillons aussi aux manufacturiers de ne pas laisser les autres ouvriers prendre leurs repas, ou se chauffer dans la machine. Une imprudence de leur part serait dangereuse pour eux ou pour la machine, et, à part ce danger, c'est une source constante de malpropreté et de désordre à éviter.

575. *Cloche d'alarme.* Une autre précaution utile est d'avoir dans les ateliers une sonnette ou une petite cloche d'alarme, dont le cordon répond dans la chambre de la machine à vapeur, afin que le chauffeur puisse avertir quelques instants d'avance du moment où il va mettre en marche, ou arrêter la machine. C'est un bon moyen d'éviter des accidents; et il n'est pas sans utilité de placer aussi dans la chambre de

la machine une sonnette dont le cordon soit dans l'atelier, pour faire arrêter rapidement la machine en cas d'accidents arrivés, soit aux ouvriers, soit aux outils employés. Il sera peut-être bon de répéter ici que, dans un cas urgent, on peut arrêter presque instantanément une machine, en fermant le robinet régulateur et ouvrant les deux robinets de graissage des plateaux. L'air qui y pénètre arrête immédiatement les pistons par le poids qu'il leur oppose. (422.)

Lorsqu'une clavette se desserre souvent, le chauffeur doit bien se garder de l'enfoncer à grands coups de maillet; elle s'userait et se rongerait de suite. Le seul moyen sûr et prompt de la maintenir, est d'en ouvrir les branches un peu plus à fond.

576. *De la surveillance du chauffeur.* L'attention du chauffeur doit se porter à la fois sur deux objets principaux, indispensables à la conduite régulière de la machine; c'est le flotteur qui le guidera pour faire marcher ou arrêter la pompe alimentaire à propos et avec régularité, comme nous l'avons dit, parce qu'en alimentant trop à la fois, il refroidit la chaudière et diminue la force de la vapeur. (340.); et le manomètre, qui le dirigera dans la conduite du feu, sur laquelle nous allons donner quelques détails plus étendus.

577. *De la conduite du feu.* Le principal talent d'un bon chauffeur est d'entretenir un feu vif et égal, parce qu'alors il fait produire au combustible le plus grand effet possible; et en même temps il soutient régulièrement la marche de la machine. Un chauffeur d'une intelligence ordinaire peut donner sur un mauvais chauffeur une économie de combustible qui s'élèvera à 8 ou 10 0/0. (218.)

Pour cela, il ne faut jamais couvrir la grille d'une couche de houille qui ait plus de 0 m. 12, d'épaisseur, également répandue sur toute la surface de la grille, sans y laisser des vides par lesquels l'air puisse passer sans être brûlé. Si la

couche de houille était trop faible, l'air qui la traverserait ne serait pas suffisamment brûlé : si elle était au contraire trop épaisse, l'air ne pourrait plus pénétrer au centre de la masse brûlante, et les parties qui y seraient placées, étant seulement distillées, donneraient une fumée noire et une perte notable de houille, et surtout un mauvais emploi du combustible. Il en serait de même si l'on employait des morceaux beaucoup plus gros que le poing; ils ne brûleraient qu'à la surface, et l'intérieur se distillerait aussi, avec un grand développement de fumée; il faut, d'un autre côté, veiller attentivement à ce que le chauffeur ne charge pas son feu d'une trop grande quantité de houille à la fois. Le résultat serait encore le même; le feu se trouverait tout à coup tellement refroidi, que la combustion deviendrait lente; incomplète, et que le fourneau donnerait beaucoup de fumée; et lorsqu'enfin cette masse s'embraserait à la fois, le feu devenu trop violent pourrait fatiguer les bouilleurs ou ferait au moins monter la vapeur à une tension très-haute, et imprimerait une vitesse irrégulière à la machine. Quand la houille est maigre et colle peu, on doit charger plus fortement la grille; car on rentre dans des conditions analogues à celle de l'emploi du coke, qui ne brûle bien qu'avec de l'épaisseur (note 4).

578. *Proportions des charges.* Les chauffeurs sont toujours disposés à remplir le fourneau d'une grande quantité de houille, et à l'employer en gros morceaux, pour éviter la peine de les briser, et pour rester plus longtemps tranquilles; cependant le seul moyen d'avoir un feu vif et régulier, est de charger, souvent, mais seulement, une petite quantité de houille, que l'on répand également sur la couche embrasée; elle s'allume alors avec facilité, sans ralentir la combustion ni refroidir la chaudière. Suivant Tredgold, la grille doit porter à la fois une quantité de houille égale à 3 ou 4 fois celle de chaque charge; mais surtout il ne faut pas laisser tomber

le feu, et il faut décrasser à fond la grille, au moins quatre fois par jour avec de bonne houille, plus si ce sont des charbons qui crassent beaucoup, comme ceux d'Ecosse, par exemple. Il y aurait cependant de l'inconvénient à multiplier trop les charges, parce que, la porte du foyer restant presque constamment ouverte, l'air qui s'y introduirait changerait le tirage du fourneau, le refroidirait, le ferait fumer, et pourrait même détruire les bouilleurs, surtout lorsque la chaudière travaille à haute pression. Il serait prudent de fermer avec des bouilleurs de fonte le registre de la cheminée, chaque fois que l'on ouvre la porte du fourneau, pour arrêter le courant d'air et éviter tout danger.

MM. Roman et C^e ont trouvé que de petites charges de bois, jetées de cinq en cinq minutes, donnent le résultat le plus avantageux, nous pensons qu'avec la houille on en obtiendra d'aussi bons, en chargeant de dix en dix minutes, ce qui tiendra la porte moins souvent ouverte. Avec un bon fourneau, quinze à vingt minutes de feu suffisent le matin pour la mise en marche de la machine. On a soin, pour l'enlever rondement, de monter la vapeur à une demi-atmosphère de plus qu'il n'est nécessaire pour le travail de la journée. Bien qu'au premier moment de marche, la vapeur tombe très rapidement, ce qui se conçoit sans peine.

579. *Décrassement de la grille.* Il faut aussi retourner de temps en temps la houille embrasée, avec un ringard, et retirer les scories qui se fondent, engorgent la grille, empêchent l'air de la traverser, et la font en outre rougir et brûler. Quand le feu est bien soigné, on doit, en regardant sous la grille, n'apercevoir aucun endroit bouché, et noirci par les crasses; les barreaux alors, rafraîchis constamment par un courant d'air rapide, ne peuvent pas rougir ni brûler comme on le voit quelquefois, en peu de temps. (111.) Ils se conservent, au contraire, intacts pendant des années entières.

Un autre genre de soins contribue aussi efficacement à leur conservation, c'est de ne jamais laisser les cendres s'accumuler dans le cendrier; il faut les retirer à mesure, les tamiser à la claie, et rejeter dans le fourneau tout le coke qu'elles contiennent encore, et qui ordinairement est assez abondant, à moins que la houille employée ne soit très-grasse.

DE LA MARCHÉ DES FOURNEAUX.

580. *Influence de la saison.* L'allure des fourneaux éprouve aussi des variations, indépendantes du chauffeur, et qui influent sur la consommation du combustible. Ainsi, dans une même saison, avec un feu bien conduit, la différence d'un temps de pluie à un temps sec, est un excès de dépense de 4 ou 5 p. 0/0. Les vents, surtout les vents d'ouest et la neige, entravent notablement le tirage, et portent cet excès de dépense à 8 ou 10 p. 0/0. La différence de l'hiver à l'été est aussi un excès de consommation régulier et égal à l'augmentation momentanée que donnent les vents et la neige. Dans des expériences faites sur six locomotives et citées par Wood, les locomotives traînaient, avec une vitesse de 8046 mètres à l'heure, terme moyen, en été 61 tonnes, et en hiver 50 1/3 t. de marchandises. La différence est ici de 17 p. 0/0, mais une portion de cette différence doit être attribuée à ce que les rails mouillés et salis, opposent plus de résistance au remorqueur. Ainsi on peut appliquer 10 p. 0/0 à la différence de travail des foyers de l'été à l'hiver.

581. *Nécessité de se rendre compte de la dépense du combustible.* Dans l'appréciation de la dépense d'un fourneau ou d'une machine, on doit donc faire attention aux observations qui précèdent et qui sont le résultat des relevés journaliers

de dépense de la machine de M. Crepet pendant 10 années consécutives. On comprend donc combien il est important de se rendre un compte exact et détaillé de cette dépense ; car dans les variations que nous avons montrées s'élever jusqu'à 10 p. 0/0, nous avons supposé la machine bien entretenue et maintenue à sa vitesse de règle. Combien les pertes ne seraient-elles pas plus graves si la machine marchait irrégulièrement ou était en mauvais état !

Nous avons dit qu'un bon compteur servait de règle sûre au travail de la machine ; quant à son entretien et à sa conduite, dont la consommation de combustible est un symptôme immédiat, le seul moyen de l'apprécier est d'en tenir note exacte.

582. *Comptabilité du combustible.* Le meilleur procédé est de livrer jour par jour, à la mesure, la quantité de houille dont le chauffeur a besoin, de manière à le maintenir forcément à une allure régulière, et à en reconnaître immédiatement les variations. Il n'est pas de chauffeur, si négligent qu'il soit, qui, ainsi rationné, ne veuille s'y maintenir et ne fasse des efforts suivis, n'économise son combustible, n'emploie toutes ses escarbilles, pour éviter de redemander, dans la soirée, un supplément de houille ; tandis que s'il puise sans contrôle à un tas considérable de combustible, il le prodigue infailliblement.

583. *Feuilles de semaine.* Un manufacturier soigneux doit se faire donner par son directeur des *feuilles de semaine*, où sont relevées dans six colonnes les diverses *natures de travail* fait chaque jour, les diverses *maines d'œuvre*. Les frais ordinaires et extraordinaires d'entretien y sont séparés ; ceux de la machine à vapeur par nature, le temps réel de son travail, et sa consommation de houille par jour ; enfin tous les éléments d'un bilan hebdomadaire. Si ce bilan approximatif est impossible pour chaque semaine, on doit le faire tous les

mois. En comparant entre eux ces tableaux, il est impossible que l'on ne reconnaisse pas immédiatement les causes des variations de marche de la machine à vapeur. Puis *il faut ouvrir un compte à chaque nature de frais, afin d'obtenir d'année en année des résultats comparatifs.*

584. *Surveillance des machines dans le Cornouailles.* Dans les mines du Cornouailles, en Angleterre, où il existe un grand nombre de machines très-puissantes, presque toutes employées à pomper les eaux de ces mines, les chefs d'établissements se sont concertés et cotisés pour charger un habile ingénieur de la surveillance, de l'entretien, et de l'amélioration de toutes leurs machines. Combien un semblable travail comparatif, réuni dans une seule main, ne doit-il pas donner de résultats utiles et économiques, et amener de perfectionnements, soit dans les machines, soit dans les constructions de fourneaux. Tous les ans on publie un rapport général sur l'état de ces machines, leur dépense, leur consommation et leur travail. Bien que ces rapports nous paraissent présenter des erreurs graves, cependant ils sont fort utiles. Nous n'avons jamais compris pourquoi les manufacturiers de la Seine Inférieure, par exemple, où près de 300 machines à vapeur sont en activité, n'ont pas chargé, en commun, de cette surveillance un ingénieur spécial. Quel est cependant le manufacturier éclairé qui ne donnerait pas 100 fr. par an pour avoir ainsi à sa disposition des conseils comparatifs ?

585. *Service que peut faire un chauffeur.* Ajoutons qu'un chauffeur ordinaire peut faire, pendant 42 heures sur 24, le service complet de 2 fourneaux de 20 à 30 chevaux; et s'il a trois fourneaux à soigner, il ne faut pas lui demander plus de 8 heures de travail par jour en deux relais.

586. *Nétoyage du cendrier.* Si l'on néglige cette précaution, cet amas de cendres, dans lequel il reste du coke qui brûle lentement, gêne le tirage du fourneau; il chauffe en outre

l'air, comme nous l'avons déjà dit; ce qui nuit à la combustion, rougit et détruit promptement les barreaux de la grille. On a vu précédemment que plus un fourneau a de tirage, moins promptement se brûlent les barreaux. En enlevant fréquemment les cendres, on n'est pas obligé, comme l'a conseillé la société de Mulhouse, de faire couler dans le cendrier un courant d'eau, qui ne nous paraît avoir aucun autre but que d'éteindre la houille tombée de la grille, et d'empêcher le cendrier de s'échauffer; parce que nous ne croyons pas que l'eau, toujours chaude à sa surface, puisse refroidir sensiblement un courant d'air très-épais, et d'une vitesse considérable: ni que la petite quantité de vapeur d'eau, qui se développe, puisse avoir sur la marche du feu une action quelconque.

Au reste, la qualité de la houille doit influer sur la conduite du feu; car si cette houille est maigre et qu'elle ne colle pas, on peut, sans inconvénient, en charger sur la grille une quantité un peu plus grande que si elle était très-grasse, et l'on n'a pas besoin de la retourner aussi souvent au rینگard; tandis que la houille grasse, se gonflant et formant une croûte qui s'embrace tout à coup, demande comme le bois à être chargée par petites quantités et plus fréquemment, afin d'éviter les coups de feu irréguliers et subits; dans le premier cas surtout, il y a de l'économie à passer les cendres à la claie, pour rejeter sur le feu, par petites portions, les escarbilles mouillées d'eau.

587. *Des moyens d'éviter la fumée dans les fourneaux.* En un mot, le feu doit être très-régulier, parce que la régularité de la marche d'une machine, outre qu'elle est indispensable au travail qu'elle exécute, est le meilleur moyen de ne la pas fatiguer, et de n'avoir pas besoin de coups de feu trop violents, après avoir laissé la vapeur tomber trop bas. Il doit être très-vif, parce que plus la combustion est active et rapide,

plus on obtient de vapeur avec la même quantité de combustible (1); (69.) or, pour entretenir un feu vif et régulier, il faut charger le fourneau souvent avec de la houille en petits morceaux, tenir la grille très-propre et le cendrier toujours vide. Avec ces soins, un fourneau bien construit et dont on ne laissera pas les carneaux et la cheminée se remplir de cendres et de suie, ne donnera jamais de fumée, excepté dans les moments où l'on ouvrira la porte pour alimenter, et quelquefois quand l'air est lourd et chargé de pluie, parce que alors les fourneaux sont beaucoup plus disposés à fumer, à cause de la diminution d'activité de la combustion. (175.) De plus, en ne chargeant la houille fraîche que sur le devant du fourneau, pour qu'elle ait le temps de s'échauffer et de s'allumer, et en repoussant préalablement sur le reste de la grille, toute la houille déjà embrasée; en prenant enfin rigoureusement toutes les précautions que nous avons indiquées, nous pouvons garantir qu'on évitera jusqu'à la moindre trace de fumée, sans aucun appareil fumivore, excepté pendant une demi-minute au moment de chaque charge; avec des soins plus grands encore, le chauffeur réussirait même à éviter cette fumée; par cette méthode, la fumée de la houille fraîche se brûle en traversant toute la grille enflammée. Le matin, quand le fourneau et la chaudière sont plus froids, il y a toujours de la fumée, parce que la combustion est moins complète.

588. *Conduite du registre.* C'est avec le registre seul de la cheminée, qu'un bon chauffeur doit diriger et régler son feu, et jamais, comme nous l'avons dit, en ouvrant la porte du fourneau. Il peut aussi, pour diminuer le tirage, fermer la porte du cendrier, s'il en existe une, quand il arrête le feu.

(1) Plus la combustion est complète, moins la flamme est longue, et plus l'action du feu s'utilise entièrement sur la surface directe de chauffe.

pour quelque temps, sans oublier cependant de fermer le registre; car nous ne pensons pas qu'en aucun cas, la fermeture du cendrier puisse suppléer à celle de la cheminée. Il s'établirait toujours des courants d'air dans les carneaux, surtout lorsqu'ils sont larges. Il est également dangereux de retirer à la fois tout le feu du fourneau, à moins d'accident urgent, et dans ce cas, il faut fermer immédiatement la porte, le cendrier et le registre. (106.)

Le chauffeur doit toujours tenir son registre fermé, autant que le permet le tirage nécessaire au fourneau; car il ne faut pas croire qu'en fermant au quart ou à moitié un registre, on diminue d'un quart ou de moitié le tirage, la quantité d'air qui passe en un temps donné, et par conséquent la quantité de combustible brûlée. L'interposition d'une lame mince ne diminue que très-légèrement le tirage, jusqu'à plus de moitié de la section du passage. En effet, M. Daubuisson a reconnu dans la distribution d'eau de Toulouse, que, la fermeture à moitié d'un robinet de vanne, ne diminuait pas sensiblement la dépense d'eau, et que cette réduction de dépense ne commençait qu'au-delà. Il faut donc fermer le registre jusqu'au point où le tirage commencerait à souffrir.

589. *Des moyens d'arrêter l'excès de tension de la vapeur.* Lorsque, pendant le travail, la vapeur s'élève à une tension trop haute, il faut immédiatement fermer le registre et alimenter fortement la chaudière. L'eau froide que l'on y envoie, maîtrise en un instant cette augmentation de pression; c'est ordinairement quand on arrête la machine pour quelque accident que la vapeur s'élève ainsi. On doit alors diminuer la charge des soupapes de sûreté, en rapprochant les poids qui les maintiennent, fermer en même temps le registre, et bientôt la tension devient stationnaire, parce que les soupapes débitent à mesure toute la vapeur qui se produit: aucun danger n'est plus alors à craindre.

590. *Des précautions à prendre en arrêtant la machine.* Lorsque l'on veut arrêter la machine, on ferme le registre pour interrompre le courant d'air; on laisse encrasser la grille, et le feu tomber quelque temps d'avance; on consomme enfin toute la vapeur formée; ou, si la machine s'arrête avant que cette vapeur soit entièrement consommée, on en dégage l'excédant au moyen d'un robinet de sûreté: on n'oubliera pas surtout que, lorsqu'un fourneau est très-chaud, il produit encore une assez grande quantité de vapeur, longtemps après que le feu est éteint et la machine arrêtée; cette quantité s'élève à près de 200 k. dans une chaudière de 20 chevaux. C'est par conséquent une pratique très-dangereuse que de couvrir le feu de cendres, ou de litière mouillée, pour le retrouver quelques heures après, même en fermant le registre: et rarement ferme-t-il assez bien pour s'opposer complètement à une combustion lente, et à une nouvelle formation de vapeur. Nous pourrions citer des manufacturiers qui permettaient cette pratique à leurs chauffeurs, et qui ont été réveillés au milieu de la nuit par les sifflements de la vapeur au travers des soupapes de sûreté et des masticages de leur chaudière: le registre avait été oublié ou mal fermé, et le feu s'était rallumé complètement. On sent quels accidents pourrait entraîner un pareil oubli de la part des chauffeurs.

591. *Régularité de la pression de la vapeur.* En entretenant un feu régulier et alimentant assez fréquemment la chaudière, il est facile de soutenir la vapeur au même degré, et ce degré doit être tel, que l'on ne soit pas obligé d'ouvrir entièrement le robinet régulateur pour donner à la machine la vitesse exigée: en tenant ainsi le robinet à peu près au quart fermé, on peut au besoin lui donner plus d'ouverture, pour maintenir la vitesse de la machine, si la vapeur vient à baisser un moment, et on a le temps de pousser le feu plus vivement, pour la ramener à sa tension ordinaire.

Par la même raison, on ne doit pas inutilement ouvrir en entier le registre de la cheminée, mais se réserver cette ressource pour activer au besoin le feu.

592. *Mesure de la qualité des fourneaux de machines à vapeur par l'eau de condensation.* Le meilleur moyen de s'assurer qu'un fourneau est bien construit et donne un produit avantageux en vapeur, et en même temps d'essayer la qualité de la houille que l'on emploie, est de peser la quantité de houille qu'il brûle en trois heures, quand la machine marche régulièrement sous sa charge habituelle, et de mesurer ou peser en même temps la quantité d'eau qui s'écoule du condenseur pendant deux ou trois minutes, en ayant soin de recommencer plusieurs fois cet essai. Pour en vérifier les résultats, on observe en même temps la température de l'eau du puits, et de celle qui s'écoule du condenseur, en la prenant dans son chapiteau même, où elle n'a pas encore éprouvé de refroidissement. Admettons que l'on ait obtenu les résultats suivants, pour une machine de 20 chevaux à deux cylindres et à chaudière de fonte :

Houille brûlée en une heure,	62 kilog.
Température de l'eau de puits,	12° centigr.
Température de l'eau du condenseur,	39°
Quantité d'eau écoulée en 3 minutes,	373 kilog.

L'élévation de température qu'a reçue l'eau de condensation sera de 27° ou 27 calories par k. d'eau, et $373 \text{ k} \times 27 \text{ calories} = 10,071 \text{ calories}$ en 3 minutes, ou 201,420 calories en une heure, divisées par 650 calories (correspondant à 1 k. de vapeur), donneront 310 k. de vapeur par heure.

$\frac{310}{62} = 5 \text{ k. de vapeur pour 1 k. de houille.}$ Or pour une chaudière de fonte, c'est le résultat que l'on doit ordinairement obtenir (note 9).

593. De la vitesse à donner aux machines à vapeur. Il est encore un objet auquel le chauffeur doit donner beaucoup d'attention, et qui servira utilement à le guider dans la conduite régulière de la machine; c'est la vitesse moyenne à lui donner : sa parfaite régularité intéresse évidemment le manufacturier ; car, dans les ateliers où les métiers exigent une vitesse déterminée, et calculée d'après celle que doit conserver le moteur, si cette dernière varie, celle des outils variera, et la qualité du travail en souffrira ; c'est ce qui a lieu dans les filatures ; d'un autre côté, dans les ateliers où le mouvement des outils peut, sans inconvénient pour la qualité de l'ouvrage, varier dans des limites un peu plus étendues, ce qui est rare, il n'en résulte pas moins que, si la machine se ralentit, la quantité de travail fait diminuer, d'où résulte une grande perte ; et si elle s'accélère trop fortement, elle court de grandes chances d'accidents, et expose aussi les outils qu'elle conduit.

Le manufacturier doit donc connaître exactement ce qu'on peut nommer *la vitesse de régime*, à laquelle sa machine doit constamment marcher ; celle pour laquelle elle a été réglée, et tous les mouvements combinés, celle en un mot que l'expérience a prouvée la plus avantageuse au développement de la puissance mécanique de la vapeur.

594. Vitesse des pistons des machines à vapeur. La vitesse la plus avantageuse à donner à la vapeur, c'est-à-dire aux pistons qui reçoivent son action, est, selon les meilleurs mécaniciens, de 1 mètre par seconde.

Par conséquent, plus la course des pistons est petite, plus le nombre de coups qu'ils doivent donner est grand.

Il est facile de calculer, d'après ce résultat d'expérience, la vitesse de régime à donner à toutes les machines à vapeur, lorsque l'on connaît la longueur de leur manivelle. On fera seulement attention qu'il vaut mieux se maintenir au-dessous

qu'au-dessus de cette vitesse, surtout dans les grandes machines, et, à plus forte raison, dans celles qui sont très-chargées.

595. *Vitesse de régime de quelques machines.* Le nombre de coups de piston que doivent donner les machines à basse et à moyenne pression les plus fréquemment employées, est à peu près celui-ci.

Machine de 8 chevaux, 30 coups de piston;

—	10	—	28
—	12	—	27
—	16	—	25
—	20	—	22

En tous cas, en mesurant la longueur de la manivelle, il sera toujours facile de calculer quel est le nombre de révolutions qui donnera au piston sa vitesse de 1 m. par seconde.

596. *Du métronome.* Mais pour que le chauffeur puisse régler avec certitude la marche et la vitesse de sa machine, suivant cette vitesse déterminée d'avance, on ne doit pas se fier à l'expérience et à l'habitude; on laisse souvent ralentir par degrés insensibles cette vitesse, et l'on ne peut s'en apercevoir, si l'on n'a pas une mesure invariable qui serve de point de comparaison, et rectifie l'erreur à laquelle l'oreille s'accoutumerait facilement. Il faut placer dans la chambre de la machine un métronome, instrument qui devrait se trouver auprès de tous les moteurs auxquels est nécessaire une grande régularité.

Rien de plus simple que la construction de cet instrument : c'est une planche de 1 m. 80 de longueur environ, devant laquelle oscille une balle de plomb suspendue à un fil de soie. On peut régler la longueur de ce fil, soit en le fixant à un petit goujon mobile, en fer, sur lequel il se roule; soit en passant le fil qui soutient le petit poids oscillant, dans deux trous

percés sur la longueur du goujon, de manière qu'il soit suspendu par les deux bouts. Pour les empêcher de se tordre ensemble, on écarte les deux trous l'un de l'autre, de deux ou trois centimètres. Enfin on met, aux deux extrémités de la soie, de petites balles de plomb pour équilibrer le poids oscillant, de sorte qu'en élevant les petites balles on fait descendre le poids, et réciproquement; on donne ainsi au fil oscillant une longueur calculée d'avance, suivant le nombre d'oscillations que l'on veut qu'il fasse en une minute.

Pour cela, on trace sur la planche diverses longueurs que nous donnons dans la table insérée en note sous le n° 10, toutes prises à partir du point de suspension : ce sont les longueurs du pendule qui bat à Paris le nombre correspondant de coups en une minute. On met donc le poids oscillant au niveau du nombre de coups qu'il doit donner; et en le faisant osciller, on compare facilement sa vitesse avec celle de la machine, parce que, quelque faible que soit la différence de ces vitesses, dès qu'il en existe une, au bout de 12, 15 ou 20 oscillations, le pendule prend de l'avance sur la machine, ou se trouve en retard.

597. *Du compteur.* Les manufacturiers habiles ont soin d'établir dans leur atelier un compteur qui donne le nombre de révolutions de la machine, et la comparaison directe de son travail réel avec une horloge, et indique, à chaque heure du jour, si la machine est en retard ou en avance sur l'horloge. Le chauffeur est ainsi obligé de regagner, dans l'heure suivante, ce qu'il aurait perdu pendant l'heure précédente, et sa marche est réglée avec fixité.

Une machine bien conduite ne doit pas à la fin de la journée avoir perdu plus de 8 ou 10 minutes sur l'horloge.

598. *Graissage.* On graisse les machines à vapeur deux fois par vingt-quatre heures. Pour cette opération, on arrête la machine en ayant soin de laisser la manivelle en haut. Pour graisser la manivelle, on desserre la clavette, on retire le

grain de cuivre supérieur, on le couvre de suif ou de graisse animale fondue, mêlée, si l'on veut, de plombagine passée au tamis de soie; on en frotte également le prisonnier de fer, on remet le tout en place, et on resserre la clavette; on fait ensuite couler quelques gouttes d'huile d'olive ou de pied de bœuf, dans les lumières de tous les grains de bronze du parallélogramme, du balancier, de la bielle, des arbres de couche, etc., etc., et partout où il y a des frottements, sans oublier de desserrer les clavettes et de déboucher les lumières, pour que l'huile puisse pénétrer sur les tourillons, et ne pas les laisser frotter à sec (516, 517).

Au reste, il ne faut pas croire que la conduite journalière d'une machine et son entretien présentent de grandes difficultés, ou exigent un long apprentissage, et que le talent de chauffeur soit rare à trouver. Il faut peu de temps pour former un chauffeur ordinaire : un ouvrier qui sait travailler le fer, pourvu qu'il ait un peu d'intelligence, d'activité et de soin, est promptement au courant de ce travail, si le propriétaire de l'établissement peut se charger lui-même de la haute direction de la machine, d'en reconnaître et d'en corriger les accidents les plus sérieux et les moins fréquents. C'est ce but que nous nous sommes efforcés d'atteindre : ce qui est difficile et rare, est de trouver un chauffeur capable, par l'activité et la tenue de son esprit, et par son expérience pratique, de conduire une machine à vapeur, seul, et sans aucune surveillance; de deviner les accidents qu'il n'a pas encore éprouvés, et d'en trouver le remède; d'entretenir enfin sa machine, de lui faire exécuter un long travail sans la fatiguer, et avec autant d'attention et d'intérêt qu'en pourrait mettre le propriétaire lui-même. De tels chauffeurs sont peu communs, et nous pouvons ajouter que de tels hommes sont rares aussi dans toutes les carrières, et à des degrés même d'instruction beaucoup plus élevés.

DE LA POSE DES MACHINES A VAPEUR (1).

599. Bien que la pose des machines soit l'affaire spéciale des mécaniciens, et ne regarde pas directement le chauffeur et le manufacturier, nous croyons nécessaire de donner ici les principes d'après lesquels on doit se guider dans cette opération : ils sont indispensables, soit pour remplacer les pièces qui se brisent quelquefois, soit pour vérifier les travaux d'un ouvrier monteur, et s'assurer qu'il n'a négligé aucun soin important, car il est des fautes de montage auxquelles il serait difficile de porter remède plus tard ; soit pour corriger au moins les défauts dus à cette cause, que l'on apercevrait dans la marche de la machine. Nous ajouterons qu'il est impossible de bien connaître les machines, de découvrir et de guérir leurs maladies, si l'on ne s'est pas rendu un compte exact de l'ajustement et des rapports de position de toutes les pièces, de l'exactitude desquelles dépend presque entièrement la perfection de la machine.

Nous ne saurions donc recommander trop instamment aux manufacturiers, de veiller par eux-mêmes à ce que les précautions les plus minutieuses soient prises dans ce montage. Une machine mal posée s'use beaucoup plus rapidement, est sujette à de plus fréquentes réparations, entraîne par conséquent de nombreux chômages, et brûle enfin plus de houille. Nous ne craignons point d'insister encore ici sur la nécessité d'éviter tout chômage et tous faux frais inutiles : quelque faibles qu'ils paraissent en détail, ils forment, à la fin de l'année, une somme considérable.

(1). On nous a reproché de n'avoir pas parlé de la pose des machines, dans l'ordre rationnel, avant de parler de leur marche ; mais nous avons pensé que pour bien comprendre cette pose il était nécessaire d'en avoir étudié toutes les pièces.

600. Lorsque l'on a déterminé la place où l'on veut monter une machine à vapeur, le premier travail à faire, est de creuser le puits, et de s'assurer que l'on trouvera l'eau en quantité suffisante; un manque d'eau imprévu peut entraver l'entreprise la mieux conçue. On doit même faire ce puits, s'il est possible, avant de construire les bâtiments; et de plus, établir dans ce puits, ou dans le trou de sondage que l'on a préalablement creusé, deux ou plusieurs pompes à bras, capables de tirer plus d'eau que la machine n'en consommera. On ne sera plus alors exposé à en manquer. On monte ensuite les massifs, sur lesquels la machine reposera, en même temps que le reste de la maçonnerie des murs. Si une partie de ces massifs se trouve placée immédiatement sur le bord du puits, ou en porte à faux, on y construit une arcade pour les soutenir. On creuse le puits assez large et assez profond, pour pouvoir placer sans peine les tuyaux et la pompe à eau, les raccommoder au besoin, et pour être sûr de ne jamais manquer d'eau. Il ne doit pas avoir moins de 1 m. 30 de diamètre. C'est la moindre largeur qu'on puisse lui donner, quand les massifs ne permettent pas d'aller au-delà. (474). Il est même bon, lorsque l'on est gêné par les massifs, de faire le puits plus large au fond qu'en haut; c'est une construction solide qui donne beaucoup de facilité pour le placement et l'entretien des pompes.

601. *Beffrois en bois et massifs.* Dans les pays où les bâtiments sont construits en bois, comme la Champagne, les beffrois qui portent les machines doivent être entièrement isolés du reste du bâtiment, auquel ils transmettraient une vibration continue, et détacheraient toute la maçonnerie qui en fait les remplissages.

Les massifs en pierre qui portent la machine, reposeront sur le bon fond, et s'il n'était pas possible de l'atteindre, il faudrait damer solidement les fondations, et y établir un

plancher de madriers de chêne, de 0 m. 07 à 0 m. 10 environ d'épaisseur, assemblés avec des traverses : le massif doit reposer sur ce plancher; on le construira entièrement en pierres de taille de grandes dimensions, et dont tous les joints se recouperont, et l'on donnera d'autant plus de soin et de solidité à sa construction, que la machine qu'il doit porter sera plus forte. Pour une machine de 10 chevaux, il doit avoir au moins 2 m. de profondeur.

On a essayé quelquefois de construire une partie de ces massifs en maçonnerie de moellons; mais cette faible économie présente de graves inconvénients, il est alors impossible de percer exactement à la mèche les trous des grands boulons qui traversent les massifs, et y fixent la machine, ou d'y sceller avec quelque solidité des liens de fer, pour réunir ensemble le peu de pierres de taille que l'on emploie. La dernière assise doit surtout être composée de fortes pierres, et principalement la pierre qui portera le palier de la manivelle, parce que là se fait le plus grand effort de la machine, dans la transformation du mouvement de va et vient en mouvement circulaire : nous avons même vu, dans de petites machines, cette pièce enlevée avec le palier, à chaque tour de manivelle (391).

Il faut, en général, faire d'avance l'appareillage des pierres, afin que les plus grosses se trouvent chargées de soutenir les plus grands efforts.

Il sera toujours avantageux de ne pas élever les murs d'enceinte avant la pose des grosses pierres de la machine : et on se réservera une porte de 2 m. afin de pouvoir entrer et sortir facilement les plus grosses pièces.

Quand les massifs sont construits, on doit, s'il est possible, les laisser reposer quelque temps avant d'y monter la machine.

602. *De la chambre de la machine.* La chambre de la

machine doit être élevée, pour que celle-ci n'y soit pas trop écrasée; elle doit être éclairée par de larges fenêtres, placées, s'il se peut, aux deux extrémités de la chambre; c'est le jour le plus favorable pour éclairer les parties importantes de la machine, et en même temps pour son effet général. Quand l'axe de l'arbre du volant qui transmet le mouvement dans les ateliers, doit se trouver à une grande hauteur au-dessus du sol, il est bon de construire dans la chambre même de la machine, un escalier qui en occupe toute la largeur, et qui conduise sur le haut des massifs, comme on le voit dans l'élévation générale de la machine (*pl. 15*). Il est toujours utile, soit pour le service ordinaire, soit en cas d'accident, d'avoir dans la chambre de la machine, une porte qui communique directement avec les ateliers. La chambre sera peinte à l'huile, afin de pouvoir laver facilement les taches auxquelles elle est constamment exposée : nous avons déjà dit que la propriété de cette chambre était un des meilleurs moyens d'entretenir l'activité des chauffeurs. Une machine placée dans un local obscur, étroit et sale, ne flatte en rien et n'excite pas leur amour-propre, et dans la disposition des constructions à faire, il est presque toujours facile de les rendre en même temps commodes et élégantes (556, 557).

603. *Châssis en bois.* On doit bien se garder d'employer des bois pour porter les paliers des machines à vapeur, à moins d'une nécessité absolue, parce qu'ils travaillent beaucoup, et ne se lient jamais solidement à la maçonnerie.

604. *Chaudières.* On trouvera dans l'article relatif aux fourneaux, tout ce qui concerne la pose des chaudières (65); mais, qu'on ne l'oublie pas, il est de la plus haute importance d'asseoir solidement et sur bon fond, ou sur plancher de chêne, le massif des grandes chaudières, et de se rappeler qu'elles éprouvent toujours un tassement, et que, pour qu'elles ne prennent pas charge sur les bouilleurs, il faut réserver du

jeu entre les lèvres des bouilleurs et les tubulures de la chaudière.

605. *De l'arbre de la manivelle et du volant.* Pour monter une machine, on pose en premier lieu l'arbre qui porte la manivelle et le volant; cet arbre doit être parfaitement horizontal; il ne suffit pas pour cela, que les paliers soient de niveau, parce que les gorges de l'arbre ne sont pas toujours égales: il faut se régler sur l'axe même de l'arbre, en vérifiant le diamètre des gorges avec un compas d'épaisseur, et ajoutant au palier de celle qui serait la plus faible, une calle dont l'épaisseur soit égale à la moitié de la différence du diamètre des gorges, pour prendre le nivellement sur cette calle et sur le palier le plus élevé. On peut aussi faire préparer deux tourillons en bois, de la grosseur exacte des gorges de l'arbre, et les ajuster dans le palier, après avoir percé un petit trou dans leur centre; on passe par ce trou une ficelle fine, qui sert à niveler les deux paliers. Ces nivellements doivent être faits avec un niveau à bulle d'air, et une règle dont l'exactitude soit scrupuleusement vérifiée, et que l'on retourne bout pour bout pour répéter l'observation et corriger les défauts possibles de la règle. *Quand on pose une pièce de mécanique, et surtout de machine à vapeur, on doit le faire avec la plus rigoureuse exactitude qu'il soit physiquement possible d'atteindre, et ne jamais se contenter d'approximations; c'est en grande partie cette habitude de soins et de patience qui ne se relâche jamais, même pour les pièces de peu d'importance, qui fait les bons monteurs, et en général les bons ouvriers.*

606. Ordinairement la hauteur de l'axe de l'arbre du volant est déterminée d'avance par le travail auquel il est destiné, et la place à laquelle on doit porter le mouvement dans les ateliers; dans tous les cas, on part de cette hauteur pour poser la machine à vapeur; mais, quand on peut la faire

varier un peu sans inconvénient, on doit régler cette hauteur sur celle des massifs déjà construits, comme nous l'indiquerons tout à l'heure, afin d'éviter de retoucher à ces massifs. Lorsque la machine est à double volée, c'est-à-dire lorsque le volant ne se trouve pas sur l'arbre de la manivelle, mais bien sur un autre arbre, commandé par des engrenages, pour augmenter sa vitesse, on doit poser d'abord le second arbre qui communique le mouvement dans les ateliers.

607. Pour vérifier si l'arbre de la manivelle est placé d'équerre sur le grand axe de la machine, c'est-à-dire sur la ligne qui passe par le milieu des deux cylindres, du condenseur, du balancier et du prisonnier de la manivelle, on tend une ficelle très-fine sur le grand axe de la machine, et plaçant successivement la manivelle horizontale dans ses deux positions extrêmes, à droite et à gauche de son axe de rotation, cette ficelle doit, dans ces deux cas, couper le prisonnier de la manivelle exactement au milieu de la partie qu'occupe la bielle; s'il en était autrement, c'est-à-dire, si cet axe ne coupait pas le prisonnier à la même place, cela serait dû à ce que l'axe de la manivelle ne serait pas d'équerre sur le grand axe de la machine, et il faudrait l'y amener, en faisant marcher les paliers, et les vérifier jusqu'à parfaite exactitude.

608. *Du volant.* Quand l'arbre de la manivelle est parfaitement horizontal, on y monte le volant; on observera ici que souvent ce volant est ajusté de manière à ne pouvoir pas être monté en place; il faut alors en assembler les pièces sur un plan horizontal, le relever ensuite en entier pour le descendre dans sa fosse, et introduire dans son moyen l'arbre qui le porte. Lorsque le volant ne peut pas être ajusté en place, il est plus important encore de ne pas construire d'avance les murs de la chambre de la machine, puisqu'il serait impossible d'y monter le volant horizontalement; et que plusieurs

fabricants ont été obligés de les démolir pour cette cause.

On doit serrer le volant contre le mur ; mieux vaut encore le loger dans un cintre , taillé dans l'épaisseur même du mur , de manière à l'affleurer par sa face intérieure ; cette disposition offre de l'élégance , en même temps qu'elle laisse un plus grand espace entre la roue de volée et la manivelle : cet espace est en général trop étroit pour ouvrir un passage convenable. On doit donner à l'ouverture des massifs , dans laquelle roule le volant , une largeur suffisante pour qu'un homme puisse au besoin y descendre , afin d'en retirer les objets qui y seraient tombés.

Observons ici , que devant le volant , comme autour de la bielle et de la manivelle , doivent être placées des balustrades solides , pour éviter tout accident.

On calle alors le volant sur son arbre , comme nous avons dit que l'on callait les roues , qu'il soit alaisé ou non , (540, 541), et on doit aussi mastiquer l'intervalle de l'arbre et du moyeu , au mastic de fonte , si le volant n'est pas callé rond (497).

609. *Du balancier.* Quand l'arbre de la manivelle est ainsi en place , il faut déterminer exactement la hauteur à laquelle on doit poser le balancier , et par conséquent l'entablement et les colonnes. Les mesures que les mécaniciens donnent ordinairement pour la construction des massifs , sont calculées de manière qu'en y posant la grande plaque , les colonnes et l'entablement , le balancier se trouve exactement à la hauteur qu'il doit avoir ; c'est-à-dire que , quand la bielle y est fixée , il monte et descend , à chaque coup de piston , d'une quantité égale au-dessus et au-dessous de la ligne horizontale , passant par l'axe de ses tourillons ; de manière , en un mot , que cette ligne partage sa course en deux parties exactement égales ; condition importante sur laquelle est calculée la construction du parallélogramme , et qui , si elle n'était pas remplie , exigerait dans ce parallélogramme des changements difficiles

(398). Mais il est bien rare que l'exécution des massifs et des pièces de fonte soit assez rigoureuse, pour qu'il n'existe pas une erreur de quelques millimètres sur la hauteur du balancier: il faut s'en assurer positivement; c'est ce que font trop peu souvent les monteurs, et ce qui, dans la plupart des machines, empêché la tige des pistons de descendre perpendiculairement.

Cette hauteur est égale à la longueur exacte de la bielle, depuis l'axe du prisonnier jusqu'à l'axe du tourillon de la boule du balancier, sauf une petite différence due à ce que, quand le balancier est au haut ou au bas de sa course, l'axe de ses tourillons n'est pas sur la même perpendiculaire que l'axe de l'arbre de la manivelle, puisque nous verrons plus loin que la perpendiculaire, élevée sur l'axe de rotation de la manivelle, doit partager en deux la flèche de l'arc de cercle décrit par la tête du balancier. Mais cette différence n'est pas appréciable sur une longueur aussi grande. Pour prendre exactement la longueur de la bielle, on placera dans les grains de cuivre de petits tourillons en bois, du diamètre des tourillons de la boule du balancier et du prisonnier de la manivelle, destinés à les remplacer, en ayant soin de serrer les clavettes, et c'est entre leurs axes que l'on mesurera la longueur de la bielle.

Ainsi l'axe du balancier doit se trouver au-dessus de l'axe de rotation de la manivelle; à une hauteur exactement égale à la longueur de la bielle, on s'en rend facilement compte, en réfléchissant que quand le balancier est au haut de sa course, la distance perpendiculaire entre ces deux axes est égale à la longueur de la bielle, plus celle de la manivelle; et que, quand il est au bas, elle est égale à la longueur de la bielle, moins celle de la manivelle; donc, au milieu de sa course, cette distance perpendiculaire est égale à la longueur même de la bielle.

Rappelons encore ici que, quand le balancier est au milieu de sa course, la manivelle n'est pas horizontale, c'est-à-dire, que son axe de rotation et son prisonnier ne sont pas sur une ligne horizontale, à cause de l'obliquité que prend la bielle, qui raccourcit sa hauteur perpendiculaire. Le prisonnier se trouve alors au-dessus de l'horizontale; de là il résulte que si les coups de piston de la machine sont réguliers, la manivelle marche plus vite pendant son demi-tour inférieur, que pendant son demi-tour supérieur (433).

610. *Du grand axe de la machine, et de la bielle.* Nous avons dit que l'axe de la machine doit couper en deux le balancier, suivant sa longueur, et par conséquent passer par le centre de ses deux extrémités. Il doit passer aussi au milieu de la grande plaque qui porte le cylindre : rien n'est plus important que de se bien rendre compte de la position du grand axe de la machine, qui coupe en deux parties égales le prisonnier de la manivelle, la bielle, le balancier, l'entablement, la grande plaque et les cylindres; cette ligne, déterminée par le milieu de l'épaisseur du grain de la bielle, et d'équerre sur l'arbre de la manivelle, sert de base au posage de toute la machine.

611. *De la grande plaque et des colonnes.* Quand cette ligne est déterminée au moyen d'un cordon, ou mieux d'un fil de laiton fin et bien recuit, et de points de repère, faciles à retrouver, on place la grande plaque de manière que l'axe de la machine la coupe en deux parties parfaitement égales, et que la ligne qui passe par le centre des colonnes, perpendiculairement à l'axe de la machine, c'est-à-dire l'axe de rotation du balancier, se trouve à une distance de l'axe de rotation de la manivelle égale à la moitié de la longueur du balancier, moins la moitié de la flèche de l'arc de cercle qu'il décrit.

612. *Axe de rotation de la manivelle.* En effet, pour que le

balancier soit bien posé, il faut que son axe, déterminé par les deux points de centre de ses extrémités, coïncide avec le grand axe de la machine, c'est-à-dire qu'en abaissant un fil à plomb par le centre de ses deux extrémités, il tombe sur le cordon qui détermine ce grand axe.

On mesure ensuite l'arc de cercle que décrit le centre des tourillons de la boule du balancier, quand celui-ci marche : on trouve facilement cet arc en traçant sur un plancher la moitié de la longueur du balancier, depuis son axe de rotation jusqu'à l'axe de la boule, et lui donnant pour course, perpendiculairement au-dessus et au-dessous de ce niveau, la longueur de la manivelle, de manière que la course entière soit égale à deux fois cette longueur. En abaissant une perpendiculaire du sommet de cet arc, sur la ligne horizontale qui le partage en deux parties égales, l'axe de rotation de la manivelle doit se trouver exactement à l'aplomb du milieu de l'intervalle restant, entre cette perpendiculaire abaissée, et le centre des tourillons de la boule du balancier, ainsi, dans la course du balancier, le centre de ces tourillons s'écarte alternativement d'une quantité égale à droite et à gauche de l'aplomb de l'axe de la manivelle.

L'axe de rotation du balancier qui repose sur l'entablement doit donc être placé de manière que le centre de la boule du balancier, quand celui-ci est horizontal, soit plus loin que l'axe de rotation de la manivelle, d'une longueur égale à la moitié perpendiculaire de l'arc de cercle décrit par le balancier.

613. *Entablement, grande plaque et colonnes.* L'entablement, la grande plaque et les colonnes se placent d'après les mêmes mesures, puisqu'ils doivent se trouver à l'aplomb de l'axe de rotation du balancier, et être coupés en deux sur leur longueur par l'axe de la machine.

614. *Axe de rotation du balancier.* Quand la plaque est

posée suivant l'axe de la machine, et suivant l'axe de rotation du balancier, et qu'en outre on l'a mise d'aplomb avec une grande règle et un niveau à bulle d'air, on pose les colonnes, puis l'entablement, puis le balancier; et avant de les fixer définitivement, on vérifie si l'axe de rotation de ce dernier est bien de niveau, en s'assurant que les deux points de centre des deux extrémités suivent une ligne perpendiculaire quand le balancier marche; ce qui s'opère facilement en attachant un fil à plomb à une pièce de bois placée au-dessus du balancier, lui faisant couper en deux le point de centre de celui-ci, quand il est en haut de sa course, et vérifiant si, quand il est en bas, le fil à plomb le partage encore; de même s'il n'y passait plus exactement, il serait évident que son axe de rotation ne serait pas de niveau, et que la course verticale du balancier serait gauche. On peut encore le mettre d'aplomb au moyen d'un niveau (*pl. 5, fig. 10*); dont les pieds peuvent reposer à la fois sur les deux tourillons du balancier, et sur lequel on pose un niveau à bulle d'air (391). Et en outre, on s'assure de nouveau que l'axe horizontal du balancier, passant par le centre de ses deux tourillons, partage sa course en deux parties égales (69, 433).

615. *Condenseur et cylindres.* On met alors le condenseur en place; approximativement, parce qu'on ne peut le fixer que lorsque le parallélogramme est monté; on place ensuite les cylindres (363). Pour cela il faut, quand la machine est à deux cylindres, que son axe passe par le centre des deux cylindres et de la colonne: il faut en outre que les deux fils à plomb qui passent par les deux centres des tourillons de la boule tombent au-delà du centre des grands cylindres, à une distance égale à la moitié verticale de l'arc de cercle décrit par le balancier, ainsi que nous l'avons expliqué pour la manivelle, afin de partager en deux le tirage oblique produit par le mouvement circulaire du balancier. Pour placer ainsi

les cylindres avec facilité, on les ferme tous deux au moyen de plateaux en bois bien ajustés; on détermine exactement le centre de chaque cylindre sur ces plateaux; on y trace la ligne qui passe par les deux centres, et par celui de la colonne du parallélogramme; il est alors facile de faire coïncider cette ligne avec le cordeau qui détermine le grand axe de la machine, parce que les boulons qui doivent fixer les cylindres à la plaque et aux massifs, laissent assez de jeu lorsqu'ils ne sont pas serrés.

On marque ensuite, au-delà du centre du grand cylindre, c'est-à-dire du côté de la colonne, une distance égale à la moitié verticale de l'arc de cercle du balancier, et on trace en ce point, sur le plateau, une ligne perpendiculaire à l'axe de la machine; c'est sur cette ligne que doivent tomber les fils à plomb, abaissés par les centres des tourillons de la boule, quand le balancier est parfaitement horizontal. En déterminant ainsi la position des cylindres dans les deux sens, par des tâtonnements assez minutieux, on les met en même temps d'aplomb, au moyen de la règle munie d'un fil à plomb (*pl. 5, fig. 8, (364)*, dont nous avons déjà parlé, et à laquelle on fait parcourir successivement le tour entier des deux cylindres. En plaçant ces deux niveaux dans les cylindres, on les dresse facilement sur tous les sens. On s'assure en même temps, par ce procédé, si les deux cylindres sont parfaitement parallèles entre eux. On met, s'il le faut, des calles entre la plaque et les cylindres, pour les dresser, et on serre très-fortement les écrous.

616. *Autres pièces de la machine.* Nous avons déjà indiqué les soins que réclame la pose de l'entablement (391), du parallélogramme (394) et des pistons (379), de la bielle (407), du condenseur (455) et du modérateur (489). Celui-ci se pose d'aplomb, par le même moyen que les cylindres, et s'assujétit avec des boulons. Quand le parallélogramme est placé et

réglé, il faut seulement faire attention à sa hauteur; parce qu'ordinairement les tringles sont faites d'avance, et que sans cela on serait souvent obligé de les couper. Quant à la pompe alimentaire (336), pour la placer, on met le balancier horizontal; et dans cette position, le fil à plomb qui tombe au milieu de la boîte à étoupes de la pompe, doit couper perpendiculairement en deux l'arc de cercle décrit par le tourillon du balancier qui porte la tige de la pompe, comme nous l'avons dit pour la manivelle, afin de partager le tirage oblique de la tringle.

Nous avons déjà donné avec détails la manière de poser les boîtes (411) ainsi que la pompe de puits (474), et de régler toutes les pièces de la machine.

617. *La machine doit être montée d'avance dans l'atelier de construction.* Le peu que nous avons dit ici sur le montage des machines est nécessairement fort imparfait; nous ne le destinons pas à former un ouvrier monteur; cependant il renferme les bases de ce travail, et un homme intelligent, qui connaîtra déjà une machine, y trouvera tout ce dont il aura besoin pour remplacer des pièces brisées ou dérangées, et se rendre bien compte des rapports de position qui existent entre toutes les parties d'une machine. Au reste, une machine, pour être bien montée, et par conséquent donner de bons résultats, doit être ajustée et montée d'avance dans l'atelier du mécanicien. Ce que l'on ferait plus tard sur place est toujours mal exécuté.

Ce qui précède est principalement applicable aux machines de Woolf à deux cylindres; mais ce sont les plus difficiles à monter, et les principes de montage sont les mêmes pour toutes les autres machines à balancier et à volant. En effet, la difficulté est de bien déterminer le grand axe de la machine, l'axe de la manivelle et celui du cylindre, en partageant verticalement en deux, l'arc de cercle décrit par le centre des

boules du balancier; puis de poser le balancier au-dessus de l'axe de la manivelle, d'une quantité égale à la longueur de la bielle, afin que sa course soit partagée en deux parties égales, par l'horizontale qui passe au centre de ses tourillons.

618. *Machines portatives.* Les machines dites portatives, qui sont assemblées et posées sur des bâches en fonte, et indépendantes des bâtiments, ont été ajustées et montées d'avance dans les ateliers de construction; elles ne demandent plus qu'un massif solide, et une grande exactitude de la part de ceux qui les posent, pour faire coïncider l'axe du balancier avec l'axe de commande des ateliers, et remonter toutes les pièces. Les principes de pose sont au reste les mêmes.

619. *Machines à un cylindre.* Les machines à un cylindre se posent exactement par le même procédé que celles à deux cylindres : la pose des machines à balancier sans volant, comme les machines d'épuisement, est encore plus simple, puisqu'il faut se régler seulement sur le grand axe de la machine, et le faire passer par le point où l'on veut établir les tiges des pompes, et qu'au reste on ne monte ordinairement celles-ci qu'après les machines; ce qui laisse toute latitude pour poser son grand axe et son balancier, et y ajuster ensuite le cylindre.

QUATRIÈME PARTIE.

CHOIX ET ACHAT DES MACHINES A VAPEUR.

UTILITÉ COMPARATIVE DES DIVERS SYSTÈMES DE MACHINES A VAPEUR.

620. Ce ne sera pas nous écarter de notre sujet, que de donner ici les renseignements nécessaires pour choisir, parmi les principaux systèmes employés, celui qui convient le mieux au travail à exécuter, aux localités, et aux circonstances dans lesquelles les industriels se trouvent, et d'y ajouter quelques observations sur la manière de traiter avec les mécaniciens. Nous avons vu plusieurs manufacturiers obligés, après de longues pertes, de changer leurs machines à vapeur contre des machines d'un système différent, pour n'avoir pas tenu

compte, à la formation de leur établissement, soit du prix du combustible, soit des frais d'entretien de leur moteur.

Cette question, de l'utilité pratique des différentes machines à vapeur, est difficile, et l'on ne possède que peu de données sur leur comparaison, parce que chaque constructeur adopte ordinairement un système, auquel il se livre entièrement, et que, pour bien juger de leur mérite relatif, il faudrait avoir fait exécuter à chacune d'elles le même travail, dans les mêmes circonstances, et pendant un temps assez long.

Il est une autre question sur laquelle nous appellerons l'attention, et qui présente une importance aussi grande : c'est la comparaison pratique des divers moteurs que l'on peut employer, pour exécuter un travail dans des circonstances données, principalement des cours d'eau, des manèges, et des machines à vapeur, les seuls entre lesquels il y ait le plus ordinairement lieu à choisir.

621. *Des divers systèmes de machines à vapeur.* Nous ne traiterons pas ici de la construction des machines à vapeur ; nous indiquerons seulement les systèmes le plus généralement employés, et les différences principales qui existent entre eux, sous le rapport de leur emploi. Il sera complètement inutile d'entrer dans aucun détail sur tous les modes de construction connus et adoptés par chaque mécanicien ; et que l'on trouve si variés, surtout dans les petites machines, parce qu'au fond, ils rentrent tous dans les classes dont nous allons parler, et qu'en mettant à part les détails de construction, les différences qui les distinguent sont souvent à peine appréciables. De toutes les inventions, vraies ou imaginaires, dont les machines ont été depuis trente ans l'objet, pour en tourmenter les dispositions, aucune, à peu près, n'a survécu ailleurs que dans la collection des brevets anglais ou français, et dans celle du Conservatoire des arts et métiers. La liste en serait trop longue à donner et inévitablement incomplète.

On ne peut tracer des règles particulières pour la conduite d'une machine unique, qui ne fonctionne que chez son inventeur.

Les machines à vapeur employées dans les grands travaux sont de plusieurs espèces : 1^o les machines dites atmosphériques et à simple effet ; dans ces machines, la vapeur agit seulement sur un côté du piston et l'atmosphère sur l'autre ; ces machines, qui sont les plus anciennes, sont particulièrement appliquées aux épuisements des mines, etc. ; 2^o les machines à double effet à basse pression et à condensation ; on y emploie la vapeur à une pression égale seulement ou supérieure de peu à la pression de l'air, et elle agit alternativement dessus et dessous le piston ; 3^o les machines à moyenne pression et à double effet avec condensation. La vapeur y travaille à une pression de deux ou trois atmosphères ; 4^o les machines à haute pression et à double effet, où la vapeur agit ordinairement depuis quatre jusqu'à huit atmosphères, sans condensation.

622. *Des machines à vapeur à haute pression sans condensation.* Parmi les machines que l'on construit aujourd'hui, les unes condensent la vapeur dans de l'eau froide ; après qu'elle a travaillé sur les pistons ; les autres, à haute pression, la laissent échapper directement dans l'air.

Ces dernières sont d'une construction plus simple, par conséquent d'un prix moins élevé que les autres machines. Mais leur mérite principal est de *ne consommer que très-peu d'eau*, puisqu'il suffit de remplacer dans la chaudière celle qui se convertit en vapeur : tandis que la condensation de cette vapeur demanderait une quantité d'eau environ trente fois plus grande. D'un autre côté, elles consomment plus de combustible que les machines à deux cylindres de Woolf, et que toute machine à haute pression et à condensation ; elles sont en même temps aussi sujettes à tous les accidents ou désagréments, qui sont dus à la forte pression de la vapeur,

dans les machines à deux cylindres : perte de vapeur par le piston, les ajustements et les masticages : frottements considérables du piston contre le cylindre, nécessaire pour résister à la pression de la vapeur ; déchirures et fractures des bouilleurs et de la chaudière (21.) — Nous ajouterons que les défauts des machines à haute pression y sont portés à un degré de plus, puisque, le vide ne se produisant pas sous le piston, l'on est obligé, à force égale, d'y élever la vapeur à une atmosphère de plus que dans les machines à condensation, pour équilibrer et soulever le poids de l'air : surcroît notable de fatigue, pour les masticages et les chaudières. Ajoutons que les machines à haute pression, où l'on utilise la détente de la vapeur, n'ont pas la marche régulière des machines à basse pression, et des machines à deux cylindres. Nous reviendrons plus loin sur ce sujet.

623. *Leur emploi le plus utile.* En comparant les avantages et les défauts des machines à haute pression sans condensation, on verra qu'elles doivent trouver une application utile, partout où la houille est à bon marché, et où l'on ne saurait se procurer assez d'eau pour condenser la vapeur produite (281.) Car, dès que l'on a abondamment de l'eau à sa disposition, il y a économie de combustible et d'entretien, à condenser la vapeur ; à moins que l'on ne puisse utiliser pour un service particulier toute celle qui a travaillé dans la machine. Nous avons indiqué les meilleurs procédés à adopter pour utiliser cette vapeur perdue (281) au chauffage des ateliers, ou de l'eau des teintureries, blanchisseries, etc. L'appareil de condensation de S. Hall est très-utile pour ces divers emplois. On ne doit cependant utiliser ainsi la vapeur que quand il y a nécessité de ne pas condenser ; d'une part, le passage de la vapeur à travers de longs tuyaux, donne toujours un surcroît de pression et de résistance à celle qui travaille dans la machine,

et en gêne le dégagement, et de l'autre part, il y a toujours de graves inconvénients à faire ainsi dépendre l'une de l'autre deux opérations distinctes, et entièrement séparées. Il est plus avantageux pour le service et plus économique, de condenser la vapeur de la machine, ce qui réduit la dépense de combustible d'un quart à un tiers ; et de produire de nouvelle vapeur pour le chauffage des ateliers, puisque, même en employant à ce dernier usage, celle de la machine à vapeur, il serait encore indispensable d'avoir une seconde chaudière pour continuer le chauffage, dans le cas où la machine serait arrêtée.

624. *Appliquées aux remorqueurs dans les locomotives.* Mais le véritable emploi des machines sans condensation, et celui auquel seules elles conviennent, est sur les remorqueurs destinés au service des chemins de fer. Il est évident que l'on ne peut se servir en pareil cas de machines à condensation : il serait impossible de transporter les masses d'eau nécessaires pour condenser toute la vapeur produite.

Ces machines ont de plus une qualité qui est ici de la plus haute importance ; par suite de la simplicité de leur construction, elles sont très-légères, et ne pèsent, tout compris, que 7 à 8000 k. pour une force de 18 à 20 chevaux (206).

625. *De la consommation des machines sans condensation.* Les machines à haute pression, sans condensation, comme celle de Trevithick, celles de Cavé, celles de Pauwells, et de bien d'autres mécaniciens, telles que l'on en construit beaucoup aujourd'hui, réclament une quantité de houille qui tient à peu près le milieu entre celles que demandent les machines de Woolf et les machines à basse pression, c'est-à-dire qu'elles consomment au moins 4 k. de bonne houille par chaque force de cheval et par heure, et trop souvent 4 1/2 k.

Il est bien entendu que nous ne parlons ici que des machines

au-dessus de huit à dix chevaux, parce que au-dessous, comme celles de tous les systèmes, elles consomment un peu plus de combustible, en proportion de leur puissance.

626. *Des machines à vapeur à haute pression et à condensation : de l'irrégularité de leur marche.* Une partie des inconvénients que nous avons signalés dans l'emploi des machines à haute pression, sans condensation, disparaît dès que l'on condense la vapeur. La pression nécessaire diminue, comme aussi la consommation de combustible ; mais leur défaut le plus grand subsiste toujours ; c'est l'*irrégularité de leur marche*, quand on utilise la détente, ou la grande consommation, quand on ne détend pas. En effet, les machines à un cylindre, où la vapeur, admise avec sa pression entière, pendant une partie seulement de la course du piston, se détend pendant le reste de cette course, sont évidemment soumises à une force d'impulsion, qui va en décroissant rapidement avec la pression de la vapeur. Aussi la vitesse du piston est-elle plus grande au commencement de sa course, qu'à la fin, et la marche de la machine irrégulière. Ces différences sont assez sensibles, pour que l'on ne puisse pas employer avantageusement ces machines, aux travaux qui demandent une grande régularité, comme par exemple, la filature du coton, dans les numéros un peu élevés, celle du lin, etc.

C'est probablement pour éviter ce fâcheux inconvénient, que Woolf a conçu la pensée d'employer deux cylindres et deux pistons, dont l'un reçoit pendant toute sa course l'action de la vapeur, avec sa pression entière, et l'autre reçoit l'effort de cette même vapeur qui se détend ; de sorte que l'affaiblissement total de la somme des pressions qui agissent sur le piston, est beaucoup moins considérable que lorsqu'il a lieu dans un seul cylindre : la force qui agit sur les deux pistons n'est pas diminuée de moitié à la fin de leur course, en supposant que la vapeur se détende de quatre fois son

volume primitif ; tandis que, dans un seul cylindre , elle est réduite au quart.

Aussi, dans les machines de Woolf, l'action du volant suffit-elle pour compenser exactement cette inégalité de pression , et les rendre aussi convenables aux travaux les plus délicats et les plus réguliers, que les machines à basse pression, dans lesquelles, au reste, on laisse ordinairement la vapeur opérer aussi une légère détente.

627. *De leur emploi sur les steamers et de leur consommation.* Ainsi le grand défaut des machines à haute pression et à condensation, quand on y met à profit la détente de la vapeur, c'est-à-dire quand on n'admet la vapeur dans le cylindre que pendant un quart ou moitié de la course du piston, et qu'on la laisse opérer sa détente pendant le reste de cette course , est, outre les inconvénients dus à la haute tension de la vapeur , de ne pas donner un mouvement régulier.

Leur consommation en combustible se trouve à peu près la même que celle des machines de Woolf ; peut-être un peu plus forte, de sorte que, à égalité de circonstances, l'avantage reste à ces dernières. Cependant un moindre prix d'achat, plus de simplicité dans la construction, les font quelquefois employer avantageusement dans des travaux qui n'exigent pas une parfaite régularité de mouvement. Elles sont adoptées presque généralement sur les bateaux à vapeur en Amérique, où aucune loi ne vient en gêner le développement, comme cela a lieu en Angleterre et en France; et c'est en effet un des emplois qui leur conviennent le mieux ; car, dans presque toutes les manufactures, il n'y a lieu à choisir qu'entre les machines de Watt, si le combustible est à bon marché, et celles de Woolf, s'il est cher, le point important étant la perfection et la régularité du moteur. Sur les houillères, il vaut évidemment mieux adopter des machines à basse pression,

puisqu'on leur fait consommer toutes les mies et les déchets, dont on ne sait souvent quel parti tirer; tandis que, sur les bateaux à vapeur, les machines à haute pression à détente et à condensation, réunissent jusqu'à présent les deux grands avantages de ne pas consommer beaucoup plus de houille, et d'être moins lourdes que les machines à deux cylindres.

628. *Des machines à trois cylindres.* Aitkins et Steele ont construit des machines à trois cylindres; mais l'excessive difficulté des ajustements dans les passages de vapeur, y a fait renoncer. Un des ingénieurs les plus estimés de Rouen, M. L. Granger, a levé les difficultés d'ajustement des cylindres avec la chemise, en les faisant couler d'une seule pièce. Plusieurs machines de ce système donnent des résultats très-remarquables. Un travail rigoureux doit être exécuté sous peu sur l'une d'elles pour en déterminer les avantages relatifs. Le principe de leur construction est de faire travailler la vapeur à pleine pression alternativement dans deux petits cylindres, avant de la rendre dans le grand, de manière à *obtenir en même temps le vide du condenseur, derrière le petit piston poussé par la vapeur à pleine pression, et derrière le grand piston poussé par la vapeur de la demi-course précédente qui se détend.* Sur le deuxième piston, la vapeur est équilibrée des deux côtés, et il ne marche qu'entraîné par le mouvement de la machine; dans les machines de Woolf au contraire, le grand piston ne rencontre en effet derrière lui que le vide du condenseur; mais le petit piston a, comme arrière-pression, toute la vapeur qui se détend dans le grand cylindre.

Il est évident que, sauf l'augmentation des frottements, on évite avec la machine à trois cylindres toute cette arrière pression sur le petit piston : ce qui est fort important.

629. *Des machines de Woolf et de Watt.* Dans la majeure partie des ateliers, il n'y a pas lieu à choisir entre d'autres machines que celles de Woolf à moyenne pression et à deux

cylindres, et celles de Watt à basse pression. Aussi nous chercherons à faire apprécier plus exactement les circonstances comparatives qui doivent décider une préférence raisonnée en faveur de l'un ou l'autre système.

630. *Inconvénients des machines à vapeur à moyenne pression et à deux cylindres.* Ce système de machines présente dans l'emploi de la vapeur, et dans sa construction, une complication d'ajustements, qui en rendent la parfaite exécution aussi difficile qu'indispensable. La vapeur est exposée à perdre sur sa route une partie de sa puissance, par des circulations plus compliquées. Elle y travaille avec une pression trois ou quatre fois plus grande que dans les machines de Watt, et par conséquent avec un effort plus grand, sur la chaudière, les cylindres, les enveloppes qui la contiennent, et les masticages qui en ferment les divers ajustements. Ceux-ci plus fatigués, attaqués et décomposés lentement par de la vapeur plus puissante, livrent passage d'une part à la vapeur qui s'échappe, de l'autre à l'air qui s'introduit dans la machine, d'où résulte une double perte de force et de combustible. Elle exerce en outre, sur les régulateurs, une pression considérable, qu'il faut vaincre pour les soulever. Cette pression agit aussi sur les deux pistons, bien qu'à des degrés différents, et tend à faire passer la vapeur entre les pistons et les cylindres, pour s'échapper de l'autre côté, où la tension est beaucoup moindre. Le seul remède, sans parler de la nécessité d'un alésage parfait, est de donner beaucoup de bande aux ressorts des pistons, afin de presser les segments contre le cylindre, et de fermer tout passage à la vapeur, d'où résulte un frottement considérable, l'une des grandes pertes de force des machines à vapeur.

Sous l'action de cette haute pression, les ajustements compliqués, comme ceux du parallélogramme, où le nombre des pièces est plus grand que dans les machines à basse

pression , et par conséquent les chances de dérangement plus nombreuses, et ceux de la tête de la bielle, les pièces qui supportent un puissant effort, comme le grain de la manivelle, exposés à de fréquentes variations de mouvement, à des ébranlements plus profonds, se détruiraient rapidement , si l'on ne prenait des précautions suivies; et si l'on ne prévenait les suites de ces premiers accidents, qui seraient bientôt d'autant plus graves, que la vapeur agit ici avec une grande énergie, et que l'obstacle même que lui opposent les pièces dérangées, qui résistent, en accroît l'effet, et donne lieu à de nouvelles secousses: Ces secousses profondes, dues à l'usure d'une pièce, ou au dérèglement d'une autre, se propagent jusque dans les massifs qui portent la machine, et le bâtiment qui la contient : elles ébranlent et détachent les scellements qui doivent la fixer invariablement à la maçonnerie, et se multiplient les unes par les autres.

631. Ces causes plus fréquentes, et en même temps plus graves d'accidents, menaceraient ce genre de machines d'irrégularités et de chômages dangereux pour des établissements industriels, entraîneraient nécessairement des frais d'entretien plus considérables, et une usure plus rapide de toutes les pièces, si la perfection apportée dans leur construction par les bons ateliers et les soins qu'on leur donne, n'avaient réduit aujourd'hui ces accidents à n'être pas plus nombreux que dans les machines même à basse pression, et c'est à peine si on est obligé de calculer sur un temps moins long pour la durée des machines de Woolf, que pour celle des machines de Watt.

De ces chances plus multipliées d'accidents et de chômages, résulte la nécessité de donner des soins plus intimes d'abord à la pose, mais surtout à la conduite et à l'entretien journalier des machines à deux cylindres, et de ne laisser aucune irrégularité de marche ou d'action, sans en rechercher et arrêter la cause, sans en neutraliser immédiatement les effets. Cette sur-

veillance dont les résultats sont si graves, demande plus de temps et de travail au propriétaire, et l'oblige nécessairement à confier la conduite des machines à des ouvriers plus éclairés, plus habiles, plus soigneux, et par conséquent à les payer plus cher. Ainsi, il est évident que la conséquence du système des machines à moyenne pression, comparé à celui des machines à basse pression, sous le rapport de la complication des pièces et de l'action plus énergique de la vapeur, est d'entraîner l'établissement qu'elles conduisent dans des frais plus grands de surveillance, de réparation et de chômage. Et cependant une bonne machine à deux cylindres bien entretenue ne donne pas l'un dans l'autre par année plus de trois jours de perte pour réparation.

632. *Des avantages que présentent les machines à basse pression.* En développant et exagérant les défauts des machines de Woolf, nous avons fait comprendre les avantages de celles de Watt. La simplicité de leur construction, du mode d'action qu'y exerce la vapeur, et la faible tension qu'elle y possède, presque complètement équilibrée sur les masticages par la pression de l'atmosphère, la facilité de leur conduite, l'aisance des mouvements, et le degré de solidité et de fixité plus grand qui en résultent dans toute la machine, font disparaître la plupart de ces accidents, auxquels nous avons vu les machines de Woolf exposées, prolongent leur durée, et en suppriment presque entièrement les frais d'entretien et de chômage : en un mot, la régularité parfaite et la constance de leur travail, qui se soutient quelquefois plusieurs années sans accident sérieux, en font un outil très-précieux dans les ateliers.

633. *Comparaison des deux systèmes de machines. Avantages des machines de Woolf, et défauts de celles de Watt ; de leur consommation en combustible et de leur puissance.* Ce n'est pas tout, cependant, que d'examiner les machines à moyenne

pression, sous le rapport des inconvénients qu'elles présentent ; nous avons exposé nettement leurs défauts et leurs maladies ; mais il ne faut pas les envisager d'une manière absolue, comme inévitables, et d'un danger de chaque minute ; il ne faut pas les voir partout sans remèdes et sans compensation, et s'en croire attaqué de toute part, et perdu sans ressources ; on les doit seulement étudier, pour les combattre et pour les comparer aux inconvénients que présentent les autres systèmes de machines, afin de pouvoir apprécier exactement dans quelles circonstances on doit préférer les unes aux autres.

La plus grande qualité des machines de Woolf, et celle qui seule compense tous leurs défauts, est de brûler moins de houille que les machines à basse pression. Ce fait n'est plus nié : et si l'on peut varier sur la quantité de combustible que consomment ces diverses machines, par force de cheval, suivant que les machines essayées ou les fourneaux sont plus ou moins bien construits et conduits ; qu'elles sont plus ou moins chargées, ou que le combustible a plus ou moins de qualité ; il est toujours certain que partout les machines à basse pression les mieux construites, consomment beaucoup plus de combustible que les bonnes machines à moyenne pression.

634. *Consommation comparée de ces machines.* Les machines à deux cylindres, sorties des meilleurs ateliers de construction, ne consomment que 3 k. de bonne houille par cheval et par heure de travail, pour leur charge complète, mais sans excès, et quand elles sont en bon état et bien soignées, en y comprenant la houille nécessaire pour chauffer le matin et pendant les repas. Ainsi le relevé fait depuis huit ans à Rouen de la consommation d'une machine de 15 chevaux de Casalis et Cordier, de Saint-Quentin, nous a donné pour 15 heures de chauffe ou 13 heures $1/2$ de travail plein, une consommation de $7\ 1/2$ hectolitres de $8\frac{1}{2}$ k. ou 610 k., soit 45 k. à l'heure ou 3 k. par cheval avec 14 heures de chauffe effective. En été,

et surtout en répartissant la consommation de houille sur les 14 heures de chauffe effective, on trouve la dépense réduite à 2 k. 75; mais ce n'est plus une moyenne. Les machines de ce système au-dessous de 10 chevaux, consomment 3 k. 45 ou 3 k. 50, mais celles de 30 chevaux et plus ne consomment que 2 k. 75. Nous avons, au contraire, toujours trouvé la consommation des machines à basse pression de 5, 6 et 8 k. de houille à l'heure par cheval. Sans doute les défauts des fourneaux de machines à vapeur sont beaucoup plus graves, sous les larges chaudières à basse pression, que sous celles de Woolf; mais ces dernières ne peuvent pas produire plus de 5 k. de vapeur, avec 1 k. de houille; tandis que celles à basse pression donnent 6 k. de vapeur: de sorte qu'évidemment les machines à deux cylindres développent, en résultat définitif, une quantité de puissance mécanique double des machines à basse pression, avec la même quantité de combustible.

635. *Excès de charge que peuvent supporter les machines de Woolf.* Une observation nous a frappés: toutes les machines à basse pression sont faiblement chargées, et, par leur principe même et leur construction, ne sont susceptibles d'aucune surcharge au-delà de l'effort qu'elles sont destinées à vaincre, quand elles peuvent le vaincre pleinement; tandis qu'à Elbœuf comme à Rouen et en Alsace, il n'est pas une machine à deux cylindres à laquelle on n'ait donné, non sans danger cependant, une surcharge qui s'élève à $\frac{1}{6}$ ou $\frac{1}{8}$ de leur charge de règle. Bien que cette surcharge les fatigue, elles la soutiennent; parce qu'on ne change rien à leur mode d'action, ni aux conditions de leur marche, en augmentant légèrement la pression de la vapeur; tandis que, dans la machine à basse pression, dès que la tension augmente, la vapeur passe à travers le piston dont elle brûle le chanvre; les chaudières ne sont pas en état de supporter cet excès de

fatigue; l'eau qu'elles contiennent remonte immédiatement par le tuyau alimentaire. De plus, on est obligé de leur donner une énorme surface de chauffe, de sorte que la plupart du temps, pour ne pas les faire si considérables, on les laisse trop petites : d'où il résulte que l'on ne peut pas aisément monter au besoin la vapeur à la pression nécessaire pour travailler, ni fournir la quantité de vapeur que demande cette augmentation de charge.

636. N'omettons pas d'observer ici que, quoique les machines de Woolf soient capables de recevoir un surcroît de travail, sans plier sous la charge, quand les besoins de l'établissement l'exigent, cependant il faut bien se garder d'abuser de cette puissance pour les fatiguer sans cesse; car sans aucun doute c'est la plus-grande cause de dérangements, d'accidents et de chômages qu'elles puissent rencontrer. Une machine de Woolf qui n'entraîne que sa charge, ou qui reste un peu au-dessous, marche à peu près avec la même régularité, la même constance, la même facilité, qu'une machine à basse pression : la surveillance qu'elle réclame alors ne demande pas plus d'attention, et sa conduite plus d'habileté. Mais aussitôt que l'on dépasse la limite de sa force, les conditions sont immédiatement changées, les accidents se multiplient et s'aggravent, et c'est alors qu'il faut les plus grands soins pour la maintenir en bon état. Et cependant, avec une surcharge de ce genre, on est parvenu à donner aux machines à deux cylindres de Rouen assez de régularité, pour que quelques établissements ne comptent plus, dans le cours entier du travail de l'année, que deux ou trois jours de chômage, occasionnés par les réparations qu'exigent leurs machines, qui au reste ne travaillent pas la nuit, et auxquelles, en cas d'accident, on ne fait pendant la nuit que de légères réparations.

Il est difficile de compter, terme moyen, sur moins d'un jour ou deux de chômage forcé par an, avec les machines à

basse pression ; l'avantage qu'elles offrent est donc bien faible sous ce rapport.

637. *Des frais proportionnels dans les deux systèmes de machines.* Voici un aperçu approximatif des frais proportionnels qu'entraînent ces deux systèmes de machines ; on pourra adapter à ce modèle de compte les prix de la houille dans les différents pays , et il servira de premier guide dans le choix à faire entre les divers systèmes de machines à vapeur , suivant les localités où l'on se trouve placé.

Nous avons adopté , pour le prix de la houille , celui d'une partie des provinces du nord de la France , qui est à peu près de 40 fr. par 1000 kilogrammes. Si le calcul avait été fait pour des houilles plus chères , il serait évidemment plus avantageux encore aux machines de Woolf.

FRAIS D'ENTRETIEN ET DE RÉPARATIONS D'UNE MACHINE
DE QUINZE CHEVAUX A DEUX CYLINDRES.

638. *Durée des diverses pièces.* La durée moyenne des différentes pièces d'une machine à vapeur de 15 chevaux à deux cylindres , bien entretenue , peut être estimée exactement comme suit , d'après les résultats obtenus par M. Crépet aîné , en dix ans d'observations :

- Le grand piston , 5 ans ;
- Le petit piston , 3 ans ;
- Tiroirs , 6 à 8 ans. Après ce terme , il faut les remplacer , et ajuster aux boîtes une table en acier.
- Cylindre , un alaisage tous les 10 ans ;
- Barreaux de grille en fonte , 1 an ;
- Fourneau complet , 5 ans. Le foyer doit être regarni tous les ans.
- Bouilleurs et chaudières , 15 ou 20 ans ;
- Corde du piston du condenseur , 2 ans.

639. *Frais d'entretien* Ainsi, les frais annuels d'entretien de cette machine sont :

Petit piston, un tiers de son prix coûtant	150 fr.
Grand piston, un cinquième,	120
Ressorts des pistons, démontage, tiges à tourner,	100
Tiroirs rodage,	60
Parallélogramme, regrenetage, clavettes,	40
Tuyaux, chaudronnier,	60
Condenseur, le bitord pour son piston, pompe alimentaire et à eau,	35
Une grille complète à changer,	100
Grains, bouilleurs et autres pièces,	200
Mâçonnerie pour fourneau,	300
Pelles et ringards,	12
Total des frais de réparations et d'entretien	1,077 fr.

640. *Frais de conduite journalière.*

FRAIS JOURNALIERS PAR AN.

Suif, 1/2 kil. par jour, 150 kil.,	180 fr.
Huile d'olive, 40 kil.,	100
Chanvre, 25 kil.,	60
Graisse pour les tourillons de l'arbre du volant,	}
Soufre,	
Plombagine,	
Mastic rouge,	90
Total des frais journaliers dans l'année,	445 fr.

641. *Dépense annuelle.* Les frais annuels d'une machine de 15 chevaux, à deux cylindres, dans des mains expérimentées, ne doivent pas dépasser la somme portée au tableau page 374, la dépense de houille étant de 3 kil., terme moyen, par heure de travail effectif et *par cheval*.

Genieys, en effet, évalué aussi à 100 fr. par cheval les frais de réparation et *entretien des machines* à vapeur; ce qui est à peu près exact.

FRAIS ANNUELS D'UNE MACHINE A BASSE PRESSION.

642. *Consommation d'une machine de 35 chevaux, à basse pression.* Les deux machines sur lesquelles nous avons relevé les résultats qui suivent, si obligeamment communiqués par M. Holcroft, ingénieur civil, sont de 35 chevaux chacune. La première observation qu'elles présentent est que l'une d'elles a encore un piston garni en chanvre, et consomme 4 ou 5 fois plus de suif par jour que l'autre machine, à laquelle on a donné un piston à *segments métalliques*. La moyenne de dépense pour l'année a été de 20,440 hectolitres de houille, dont 1 tiers à peu près est employé aux chauffages et séchoirs de l'établissement (1). Reste donc 13,627 hectolitres qui, à 80 kil. l'un, font 10,902 *quintaux* métriques et partagés entre 2816 heures de travail effectif, donnent 389 kil. par heure, et 5 kil. 50 par cheval.

643. *Frais de conduite journalière.* Les frais journaliers sont pour l'année :

Corde à piston,	36 kil. à 1 fr. 80 c.	64 fr. 80 c.
Filasse,	32 — 2 50	80 "
Etoupes pour essuyer,	348 — 1 50	522 "
Huile de pied de bœuf,	1100 — 2 40	2640 "
Suif en branches,	1280. — 1 "	1280 "
Savon vert pour les dents,	540 — 1 20	648 "
Chiffons,	696 — 1 20	487 50
Mine de plomb,	240 — " 60	144 "
Mastic et cêruse,		150 "

Total des frais journaliers pour 70 chevaux	6,016 fr. 30 c.
---	-----------------

644. *Frais d'entretien.* Quant aux frais d'entretien et de réparation, en les comptant avec les barreaux de deux larges

(1) La manufacture royale de tabacs, à Paris.

grilles et avec deux énormes chaudières et deux fourneaux, à 3000 fr. par an pour 70 chevaux, nous serons au-dessous de la vérité. La somme totale dépensée par an par une machine de 15 chevaux à basse pression sera donc celle portée au tableau page 374.

**FRAIS DE RÉPARATION, D'ENTRETIEN ET JOURNALIERS DES
MACHINES A HAUTE PRESSION SANS CONDENSATION.**

645. *Dépense annuelle d'une machine sans condensation.*
Quant aux machines sans condensation, il faut porter les frais d'entretien et réparation, et les frais journaliers aussi haut que ceux des machines à deux cylindres, et la dépense de houille au moins à $1/3$ en sus. Ainsi nous pouvons donner la dépense totale annuelle d'une machine de ce système, de 15 chevaux, avec certitude des résultats; telle qu'elle est portée au tableau.

Nous ne comptons rien pour la différence des pertes par chômage entre ces trois systèmes de machines, parce qu'aujourd'hui cette différence est nulle.

Dépense annuelle comparative des trois principaux systèmes de machines à vapeur.

NATURE DE LA DÉPENSE.	Machine à basse pression de 15 chevaux.		Machine sans condensation de 15 chevaux.		Machine à 2 cylindres de 15 chevaux.	
	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
Huile pour 15 heures 1/2 travail à 4 fr. les 100 kil. et 500 jours.....	5 k. 50 par heure. 3243 quint. mé.	13.368 »	4 kil. par heure. 2450 quint. mé.	9.730 »	5 kil. par heure. 1822 quint. mé.	7.288 »
Réparations et entretien.....	909 k. à 1 fr.	680 »	150 k. à 1 fr. 20 c.	1.000 »	150 k. à 1 fr. 20 c.	1.077 »
Suif.....	231 k. à 40	269 »	40 k. à 2 50	130 »	40 k. à 2 50	180 »
Huile d'olive ou de pied de bœuf.....	7 k. à 50	482 »	25 k. à 40	100 »	25 k. à 40	100 »
Filasse pour boîtes.....	7 k. 60 à 80	17 50	»	60 »	»	60 »
Corde à piston.....	75 k. à 50	15 70	»	»	»	»
Excoque commune pour essuyer, etc.....	»	109 50	»	»	»	»
Graisse pour arbre du volant.....	»	»	»	15 »	»	15 »
Soufre.....	»	»	»	»	»	»
Piombagine.....	70 k. à 60	50 »	»	»	»	»
Mine de plomb.....	35 k. à 50	87 50	»	35 »	»	35 »
Chiffons ou déchets de coton.....	»	75 »	»	90 »	75 k.	90 »
Mastic rouge ou céruse.....	113 k. à 60	67 80	»	»	»	»
Savon vert pour les dents d'engrenage.....	»	1.200 »	»	1.200 »	»	1.200 »
Chasse-feu.....	96.000 fr.	1.600 »	90.000 fr.	1.200 »	30.000 fr.	1.200 »
Intérêt du prix d'achat à 6 pour cent.....	»	»	»	»	»	1.800 »
Total de la dépense annuelle.....	»	17.910 »	»	13.290 »	»	11.855 »

646. *Résultats comparatifs des trois systèmes.* Les dépenses de ces trois systèmes sont donc entre elles comme les nombres 6 - 7 et 9. Dans de fortes machines, la différence à l'avantage des machines à deux cylindres serait beaucoup plus considérable, parce qu'il y a une partie des frais qui ne varient pas avec l'augmentation de force des machines.

647. *Choix entre les trois systèmes.* Il résulte de cette comparaison que là où la houille coûtera 10 à 12 fr. pour 1000 k. et au-dessous, nous conseillerons l'emploi des machines à basse pression; et au-dessus de ce prix, nous regarderons comme avantageux l'emploi des machines de Woolf à deux cylindres, sous condition qu'on leur donnera des soins éclairés, et surtout qu'on ne les surchargera pas : nous pouvons alors leur garantir une marche et un travail aussi actifs que réguliers.

Cette garantie a acquis d'autant plus de poids, que chaque jour, la construction des machines de Woolf se perfectionne, le nombre des chauffeurs expérimentés se multiplie, que chaque jour, mieux connues et mieux conduites, on en voit disparaître les principaux défauts, et leur emploi devient presque aussi facile et aussi simple que celui des machines à basse pression, sans leur enlever aucune de leurs qualités économiques.

Quant au danger d'explosion, l'expérience le prouve, il n'est pas plus grand dans un genre de chaudières que dans l'autre, et s'il y en avait plus d'un côté, ce serait du côté des machines à basse pression. Nous reviendrons encore sur cette question, en examinant les mesures de précaution par lesquelles on a voulu écarter ces dangers (304, 719).

648. *Des divers modes de construction.* Il est inutile de nous arrêter sur tous les systèmes, ou plutôt les modes de construction de machines, que les mécaniciens compliquent souvent en croyant les simplifier et les améliorer; tous rentrent

dans les grandes classes dont nous avons parlé, et se conduisent par la même méthode : toutes nos observations leur sont applicables.

Nous croyons avoir seulement un mot à dire des principaux modes de construction usités aujourd'hui, et adoptés par l'expérience. La plus grande différence qu'ils présentent est d'avoir ou de n'avoir pas de balancier.

Pour choisir avec connaissance de cause entre ces deux genres de machines, il sera utile de savoir que les frottements les décompositions et destructions de force qui résultent de l'emploi d'un balancier court, ou d'une manivelle agissant sans balancier, sont très-grands ; ainsi, en principe général, une machine doit toujours être munie de son balancier, et la perte de force sera d'autant moins grande que le balancier sera plus long.

Mais dans les machines de petite dimension, la plus grande complication de pièces due à l'addition du balancier, et le plus grand emplacement qu'il exige, compensent les avantages dont nous parlons. Aussi nous n'hésitons pas à employer des machines sans balancier ou avec des balanciers courts, au-dessous de huit chevaux ; mais à compter de cette force nous préférons les machines à balancier, comme plus faciles dans leurs mouvements et plus légères à conduire : à plus forte raison doit-on proscrire les machines sans balancier dans les grandes forces, comme vingt et trente chevaux. Nous ne les avons jamais vues répondre à ce que l'on a droit d'en attendre. Cependant, sur des bateaux à vapeur, où l'espace occupé par la machine doit nécessairement être réduit autant qu'il est possible de le faire, on s'en sert avec succès, parce que là il s'agit de sacrifier avec connaissance de cause un avantage à un autre avantage plus grand.

649. *Conduite et entretien des locomotives et des machines de bateaux.* Cette question, toute spéciale, vient d'être traitée ex

professo, pour les locomotives par M. Flachat, dans son Guide. Nous ne pourrions en présenter ici qu'un résumé, ce qui n'est pas dans notre but, et dans l'importance d'une matière que l'on ne peut connaître et traiter, que quand des travaux particuliers ont permis de l'étudier, comme l'a fait M. Flachat. Quant aux machines de bateaux, leur construction et par suite leur conduit et leur entretien rentrent complètement dans ceux des machines dont nous avons parlé; et nous ne croyons pas qu'avec notre *Guide* un chauffeur intelligent puisse être embarrassé. Nous avons parlé avec détails des chaudières de ces deux espèces de machines (184, 206).

650. *Des machines à rotation.* Nous ne parlerons pas des machines à rotation; il est prouvé aujourd'hui qu'elles ne peuvent jamais donner de bons résultats, par suite des grandes difficultés d'exécution, qui s'opposeront toujours à ce que leur cylindre et leur piston soient aussi bien construits que ceux d'une machine à vapeur dont la course est rectiligne; aussi n'a-t-on pas encore obtenu, par ce procédé, une seule machine qui ait fourni un travail suivi dans un atelier important.

C'est un rêve qui a occupé des hommes habiles, et a déjà été la source de grandes et inutiles dépenses. La seule qui ait jamais fonctionné avec quelque régularité, celle de M. Pecqueur, a donné de bons résultats comme effet utile; mais les difficultés de construction et de réparation sont telles, que l'inventeur même paraît avoir renoncé à en construire.

651. *Des machines oscillantes. Leurs qualités.* Construites pour la première fois par M. Cavé, ces machines, par leur simplicité et l'économie de leur construction et de leur prix, ont obtenu une grande faveur. A bord des steamers, le peu de place qu'elles occupent, leur légèreté et la facilité avec laquelle on fait agir deux pistons à la fois sur l'arbre des

roues, au moyen de deux manivelles placées à angle droit l'une sur l'autre, et surtout l'économie de combustible qu'elles ont présentée sur les machines à basse pression, leur ont donné des résultats remarquables.

652. *Leurs défauts.* Cependant, nous dirons franchement que ces machines ne paraissent pas devoir résister à de longues années de travail. Tout l'effort de résistance du cylindre y est reporté sur deux tonrillons mobiles, tandis que la condition première d'une bonne machine est la solidité et l'inébranlable fixité des points d'appui, afin que les ajustements ne prennent pas un jeu qui entraîne leur prompt destruction; l'effort constamment variable et oblique des tiges de piston, doit nécessairement occasionner des dérangements plus fréquents, une usure plus rapide, et une plus grande consommation de houille que dans les machines à haute pression et d'un autre système de construction. C'est en effet, nous le pensons, ce qui a lieu : l'usure des robinets est aussi assez rapide. Le rôle important qu'ont joué ces machines nous impose l'obligation de donner un tracé de leur distribution de vapeur (*Pl. 8, fig. 10*).

653. *Machines montées sur roues dites locomobiles.* Nous dirons un mot d'un système de machines, qui devrait avoir un nombre infini d'applications; ce sont les machines à vapeur analogues aux locomotives, portées sur des roues, mais disposées pour aller exécuter sur place différents travaux. Elles auraient des emplois très-utiles pour la construction des bâtiments, des ponts, le creusement des canaux, les grands terrassements, etc.; et il serait facile de leur appliquer des tire-sacs à courroies qui répondraient à tous les besoins que nous venons de signaler et avec lesquels on pourrait monter ou descendre à volonté, transporter et mettre en place tous les matériaux nécessaires à la construction d'une maison, d'un pont, faire les épaissements, etc., etc. Celle que M. E. Bourdon a construite nous a paru bien disposée, légère et solide.

COMPARAISON DES MACHINES A VAPEUR AVEC LES DIVERS
MOTEURS.

654. *Des moulins à vent.* Après avoir montré les rapports qui existent entre les divers systèmes de machines à vapeur, il est bon de comparer brièvement les machines à vapeur aux autres moteurs, surtout à ceux qui sont le plus généralement employés, aux manèges et aux cours d'eau. Pour ce qui concerne les moulins à vent, on ne les peut jamais appliquer qu'à de petites industries, qui n'exigent pas une grande force, ni une marche régulière : car il n'y faut pas compter sur plus de 150 jours de travail dans l'année. Avec une puissance sans cesse variable de 4, 6 et 8 chevaux, c'est un pauvre outil ! quel travail peut-on exécuter quand on ne sait jamais si on marchera dans le quart d'heure qui suit, et quand on peut être arrêté trois mois de suite et plus ?

655. *Des manèges.* Relativement aux manèges mus par des chevaux, c'est sans contredit aussi un bien mauvais moteur, et le plus coûteux de tous ; nous ne pouvons trouver qu'une seule cause qui leur conserve encore un emploi aussi fréquent en France, c'est sans aucun doute le haut prix auquel les droits de douanes maintiennent le fer et la fonte, et par suite le haut prix des machines à vapeur. Une baisse importante dans le prix des fers en amènerait inévitablement une plus grande encore dans celui des machines à vapeur, parce que la grande quantité de machines qui seraient immédiatement mises en construction permettrait de les fabriquer plus économiquement. Sans cette raison, aucun atelier bien conduit ne voudrait employer un moteur qui coûte plus cher que tous les autres, en frais généraux, et qui, marchant sans cesse par secousses, toutes les fois qu'il faut ranimer les chevaux à coups de fouet, donne la plus grande irrégularité dans la vitesse et le

travail des machines qu'il entraîne, et souvent même les brise.

Tous les essais faits pour l'appliquer à la mouture des grains ont échoué. La fabrication des huiles, hors des villes, peut encore lui offrir un emploi, parce qu'elle a lieu en hiver, dans le moment où le cultivateur dispose entièrement de ses chevaux et de son temps; mais dans les filatures de coton, où, ce qu'on ne croirait pas, il est encore beaucoup trop souvent conservé, pour peu que l'établissement ait d'importance, il coûte plus qu'une machine à vapeur, même en comptant la houille à un prix élevé.

D'habiles filateurs de coton, à Troyes, nous ont assuré qu'en payant la houille 60 fr. les 1000 k., il y a encore de l'avantage à employer une machine à vapeur, au lieu d'un manège pour filer le coton, quand on ne peut pas se procurer un cours d'eau convenablement situé.

656. *De leurs frais généraux.* Il en est à plus forte raison de même en Normandie. Voici à peu près le modèle du compte à établir, pour se guider dans le choix à faire entre un manège de deux chevaux et une machine à vapeur. On remarquera qu'avec un manège de quatre chevaux l'avantage serait bien plus grand encore pour les machines à vapeur : d'abord parce que les frais de celle-ci et la consommation de houille n'augmentent pas en proportion de l'accroissement de sa force, ensuite parce qu'au contraire la force d'un manège n'augmente pas à beaucoup près en proportion du nombre de chevaux qu'on y applique, et par conséquent de leurs frais d'entretien et de nourriture : de sorte que quatre chevaux ne font pas deux fois plus d'ouvrage que deux chevaux, attendu qu'ils ne tirent jamais ensemble, et se contrarient toujours.

657. *Manège à bœufs.* Quand on a besoin d'obtenir avec un manège une plus grande puissance, il faut, au lieu de chevaux, employer des bœufs, à qui leur lenteur, leur patience et l'habitude de ne jamais *forcer sur la résistance*, permet de travailler

ensemble en nombre beaucoup plus grand ; les manéges ont encore un assez bon emploi dans les sucreries indigènes, et cependant les fabricants de sucre qui savent calculer, s'aperçoivent bien vite qu'avec un manège ils manquent de force, que toute leur fabrication languit et traîne en longueur ; que la main-d'œuvre et les frais généraux en sont plus chers, et qu'enfin ils ont le plus grand intérêt à employer une machine à vapeur.

658. *Compte des frais de moteur pour une filature de coton à manège.* Le compte suivant est supposé fait pour une filature située à Metz.

Un manège de deux chevaux ne pourra conduire que les machines préparatoires capables d'alimenter 9 à 10 métiers en fin de 216 broches, c'est-à-dire 6 cardes environ, un banc d'étirage, un banc à broches de 12 à 15 broches, plus les mouvements. Un batteur simple n'y pourrait être ajouté qu'en ralentissant beaucoup la vitesse de la machine et de la carderie.

On remarquera qu'en choisissant des chevaux très-forts, on fera peut-être un peu plus d'ouvrage, mais aussi on accroîtra considérablement les frais d'entretien et de nourriture.

Les 9 métiers mus à bras d'homme n'auront pas, terme moyen, plus de 55 tours de vitesse, et feront chacun 10 à 11 demi-kil. de coton au n° 30 ; soit sur 300 jours de travail, 28,800 demi-kil.

Un cheval ne travaillant que 8 heures par jour, un manège de deux chevaux, pour donner 12 heures de travail par jour, en demande au moins six à l'écurie, et un cheval de manège coûte, y compris l'entretien des harnais, les chances de maladies et le remplacement de son prix d'achat en très-peu d'années, au moins 3 fr. par jour ; 6 chevaux à 300 jours par an, et à 3 fr. ci. 5,400 fr.

Un domestique. 520

TOTAL. 5,920 fr.

C'est donc 18 centimes $\frac{3}{4}$ de frais de moteur par demi-kil. de coton, qui ordinairement n'est pas aussi régulièrement travaillé qu'à la machine, à cause de l'irrégularité de mouvement et des vibrations continuelles, si fâcheuses dans la marche des préparations. A Rouen on file encore au manège, mais de très-gros numéros.

659. *Frais de la même filature, avec machine à vapeur.* Un cheval de vapeur entraîne facilement 500 broches filant le n° 30, y compris toutes les préparations. Pour la filature dont nous parlons, il faudra donc une machine de quatre chevaux, et les métiers que le manège ne pouvait pas conduire, marcheront à la machine.

Prix d'achat et établissement de cette machine,	10,000 fr.
---	------------

DEPENSE ANNUELLE.

Intérêt à 10 o/o pour l'usure,	1,000
Un chauffeur,	600
Huile, graisse, mastic et entretien,	500
Houille à 4 kil. par heure et par cheval, sur 13 heures par jour de travail, et 300 jours par an,	1,400
Total des frais dans l'année.	3,500 fr.

660. *Comparaison des résultats.* La différence à l'avantage de la machine à vapeur est donc de 2,400 fr., auxquels il faut ajouter au moins 50 centimes par métier, que l'on retiendra chaque jour aux fileurs pour le paiement du moteur qu'on leur fournit alors : dans la plupart des villes manufacturières, les frais de moteur se paient 75 centimes par métier : sur 8 métiers en fin, et au moins un en gros, c'est par jour 4 fr. 50 c. et par an 1,350 fr., qui portent l'avantage de la machine à vapeur à 3,750 fr. par an, et réduisent les frais de moteur pour la filature des 28,800 demi-kil. de coton à 2,150 fr. Ajoutons à cela que les préparations et métiers, marchant avec une

machine à vapeur, auront une vitesse bien plus grande : les métiers feront, terme moyen, 65 à 70 tours, et les cardes, 80 à 90 tours. Par la rapidité, la régularité et la constance de la marche, il y aura au moins $\frac{1}{5}$ d'ouvrage de plus fait avec la même quantité de machines et dans le même local.

Ainsi, avec un manège, la filature de chaque demi-kil. de coton coûtera en frais de moteur 18 centimes $\frac{3}{4}$: et avec la machine à vapeur, en ajoutant $\frac{1}{5}$ aux 28,800 demi-kil., on pourra en filer 34,800 avec 2,150 fr., ou à raison de 6 cent. par demi-kil. : sur une fabrication de 50 kil. par jour, l'économie est de 10 fr. 75 c., plus le bénéfice sur 15 ou 20 demi-kil. de coton, filés en sus de l'ancienne fabrication. Observons encore qu'en cas de chômage, quelle qu'en soit la cause, les chevaux continuent à manger, et la machine au contraire ne dépense plus de houille.

Nous ne comptons pour rien ici la qualité supérieure des produits filés, qui peut faire une différence de valeur de 40 centimes par kil. de coton, surtout à cause de la grande difficulté qu'il y a à filer de bonne chaîne à bras.

661. *Des roues hydrauliques.* Les roues hydrauliques sont le seul moteur qui puisse être utilement employé dans les arts avec les machines à vapeur ; c'est aux circonstances locales à décider la préférence en faveur de l'un ou de l'autre. Il est évident que lorsqu'un cours d'eau est situé avantageusement et dans le sein ou près d'une ville, ou au moins à portée des grandes communications ; lorsqu'il présente une force suffisante pour l'emploi auquel on le destine ; lorsqu'il n'est pas susceptible de tarir pendant une partie de l'été, aucune machine à vapeur ne peut être préférable, parce que, dût-on même en payer un loyer assez élevé, il y a là une régularité de marche, une économie d'entretien et de location, une facilité de conduite, que ne compense pas l'avantage possédé par la machine à vapeur, de marcher toute l'année avec la même

puissance, par les plus fortes gelées, et par les plus grandes sécheresses ; on ne saurait le nier, quelque soin que l'on donne à une machine à vapeur, il y a toujours des détails d'entretien et de menus frais qui compensent une partie de la perte de force qu'éprouve la roue hydraulique dans les sécheresses et dans les gelées, en la supposant bien construite, couverte, et placée sur un bon cours d'eau.

662. *De leurs défauts.* Mais de même que nous avons exposé les principaux défauts des machines à vapeur, il faut indiquer ici ceux des cours d'eau.

Le plus grand nombre des cours d'eau, se trouve placé dans des pays montagneux et éloignés des villes ; il en résulte, pour les établissements qui les emploient ; deux inconvénients souvent très-graves : l'un est de ne pouvoir se procurer facilement les ouvriers dont ils ont besoin (ceci est dit principalement pour les ateliers qui en emploient un grand nombre), par conséquent d'être plus à leur merci que dans une ville, de les payer souvent plus cher et de n'avoir pas le choix. Nous comprenons, dans ce premier inconvénient, la nécessité d'avoir un atelier et des ouvriers pour la réparation des machines, qui se ferait plus facilement en ville, sans autant de frais ; le second est de rendre plus difficiles et plus lents les travaux du chef d'établissement, toutes les fois que le genre d'industrie qu'il exploite réclame souvent sa présence sur un marché, ou dans un bureau de la ville la plus voisine. Car il perd un temps considérable à faire le trajet de la ville à son établissement, et il lui faut négliger d'un côté ou de l'autre ses affaires, puisqu'il ne peut être en même temps au bureau de la ville et à l'établissement : les manufacturiers éclairés sentiront immédiatement toute la gravité de cette observation, parce qu'ils connaissent la valeur du temps et de la surveillance du maître.

663. *Ils sont rarement puissants.* A ces premiers défauts,

il faut ajouter que les cours d'eau présentent rarement de grandes puissances; la majeure partie ne dépasse pas 12 ou 15 chevaux de force, l'on n'en voit que bien peu au-dessus de 40 chevaux, et ils ne sont jamais susceptibles d'accroissement, quand la prospérité de l'établissement le réclame. Il devient donc indispensable, lorsque le cours d'eau ne répond plus au travail à exécuter, ou de restreindre ce travail et de se priver à jamais de tout développement, ou de le partager entre plusieurs établissements isolés, inconvénients tous sérieux : tandis qu'une machine à vapeur transporte sur tous les points où l'industrie la réclame, au centre même des villes et des grands marchés, ou sur le sommet des montagnes, une force, qui n'a de limite que les besoins qui la demandent, et applique où l'on veut, et, s'il le faut, sur un seul arbre de couche, la force de plusieurs grands cours d'eau réunis.

664. *Ils sont une source de procès, tarissent et gèlent.* Les roues hydrauliques ont un autre inconvénient qui n'est pas ordinairement sans conséquences fâcheuses, plus fâcheuses surtout là où l'industrie est la plus active, et où par conséquent le besoin de toute la puissance du moteur est le plus pressant. Nous voulons parler des procès presque inévitables et interminables, entre les propriétaires de chutes d'eau qui se commandent les uns les autres. Il est peu d'établissements dans les pays industriels qui n'aient eu, ou qui n'aient encore de ces procès à soutenir, surtout pour les règlements de niveaux, ou pour le partage des eaux que l'on s'enlève réciproquement, comme si ce n'était pas une propriété aussi réelle et aussi respectable que toute autre propriété, eaux que chaque atelier cherche à soutenir et à monter, sans s'inquiéter même de noyer la roue qui se trouve immédiatement au-dessus.

Quelle que soit la bonté d'un cours d'eau, les sécheresses s'y font inévitablement sentir, et il faut ordinairement ralentir les travaux à cette époque. Les glaces aussi les entravent une

partie de l'hiver, et il devient nécessaire dans un établissement important d'enfermer les roues dans une cage bien close, que l'on chauffe même pendant les grands froids.

665. *Comparaison des machines à vapeur et des cours d'eau.* Les avantages et les inconvénients de ces deux moteurs étant ainsi exposés en peu de mots, il nous reste à en apprécier la valeur comparative, pour servir de guide, trop peu exact sans doute, mais au moins approché, aux manufacturiers qui se trouveraient appelés à choisir entre eux.

Mais la valeur locative, c'est-à-dire les frais de moteur des cours d'eau, varient tellement avec leur situation et le degré d'industrie du pays, qu'il est presque impossible de donner autre chose ici que le cadre du calcul à établir pour arriver à une solution. En effet, tel cours d'eau, comme la chute de la Moselle, situé au milieu de la ville de Metz, loué précédemment 12 ou 1300 fr. par tournant à blé, c'est-à-dire pour 5 à 6 chevaux de puissance, et qui s'y loue aujourd'hui 2,000, depuis que le commerce des grains s'y est développé, ne sera pas loué à moins de 3,000 fr. par chaque force de moulin à blé, aux environs d'une grande ville manufacturière ou dans son sein. Nous ne pouvons donc donner de résultats très-exacts sur cette question.

666. *Frais généraux d'un moulin à eau et d'un moulin à vapeur en ville.* Voici cependant ce qu'il faut à peu près compter. Prenons pour exemple un moulin à blé composé de quatre tournants, dont trois marchent ensemble, et mus par une machine à vapeur de 12 chevaux, et supposons que l'on ait le projet de l'établir à Metz.

Nous avons vu que l'on pourrait dresser le compte des frais de la machine à vapeur à peu près comme suit :

Houille	5,500 fr.	}	Total 12,500 fr.
Entretien et réparations,	1,500		
Deux chauffeurs,	1,500		
Intérêts du capital de la machine et loyer du bâtiment,	4,000		

Or, les cours d'eau situés au milieu de la ville sont pris aujourd'hui à 2,000 par tournant tous ensemble ; et si on les louait séparément, leur valeur locative s'élèverait encore. Ce n'est donc pas porter trop haut le loyer d'un cours d'eau capable de faire tourner trois moulins à la fois, et des bâtiments nécessaires à l'exploitation, que de les compter 6,000 fr.

Il faudrait en outre y faire de grandes dépenses pour remonter ces moulins à eau, et les mettre en état d'exécuter autant d'ouvrage que le moulin à vapeur ; 20,000 fr. n'y suffiraient pas ; l'intérêt doit en être compté à 10 p. 0/0 au moins pour couvrir les frais d'établissement à l'expiration du bail. On aura donc pour les frais annuels du moulin à eau :

Loyer,	6,000 fr.	}	Total 8,000 fr.
Intérêts des dépenses d'établissement,	2,000		

667. Or, avec le moulin à vapeur, on peut compter sur 340 jours pleins de travail, en supposant dans les deux cas que l'on travaille 350 jours par an, parce que les moulins n'arrêtent pas le dimanche : c'est compter largement que d'admettre 10 jours de chômage forcé, pour une machine qui travaille jour et nuit ; en effet, il est constant que si d'un côté elle fatigue plus en travaillant jour et nuit, de l'autre côté elle est beaucoup moins sujette à une foule de petits dérangements, de petites pertes de temps, que l'on éprouve en la remettant en activité quand on arrête tous les soirs, comme

dérangements de la pompe de puits, fentes des masticages par les dilatations et les contractions alternatives, rupture de bouilleurs, pertes de chaleur par le refroidissement de la chaudière, etc.

Ainsi, pour une machine bien soignée qui ne sera pas trop chargée, et travaillera jour et nuit, on ne doit pas avoir plus de 2 ou 3 jours de chômage forcé dans l'année. Nous comptons dans les deux cas 15 jours par an de chômage volontaire pour grandes fêtes, etc.

Les 12,500 fr. de frais répartis sur 340 jours de travail, donneront, frais par jour 36 fr. 75 c.

668. Dans un moulin à eau sur la Moselle, il faut déduire de son travail, terme moyen par année en chômages forcés :

Deux grandes crues d'eau qui noient les roues, tant pour les jours où l'on est complètement arrêté, que pour ceux où l'on ne travaille qu'à demi-charge;	10 jours,
Pour deux et quelquefois trois mois de basses eaux, où l'on est obligé de travailler à demi-charge, supposons perte nette.	30 jours,
Pour le temps des glaces où l'on arrête les moulins, et où ils travaillent à demi-charge.	15 jours,
	55 jours.

Il ne reste donc de travail net, sur les 350 que 295 jours. Tous les hommes qui ont étudié les cours d'eau seront d'avis que c'est encore compter trop haut le travail net des moulins établis sur un excellent cours d'eau : il en est beaucoup qui ne donnent pas 200 jours de travail, et qui sont encore estimés.

Les 8,000 fr. de frais répartis sur 295 jours donneront par jour de travail. 26 fr. 70 c.

669. Les moulins à eau ont donc dans ce cas un avantage

moyen de 10 fr. par jour sur le moulin à vapeur, ou d'environ 3,000 fr. par an; d'où il faut déduire le bénéfice que l'on aurait fait sur tout l'ouvrage que le moulin à vapeur exécute dans les 30 ou 40 jours qu'il travaille de plus que le cours d'eau, etc. Il faut compter en outre que ce bénéfice est un objet de la plus haute importance, parce que c'est positivement dans les moments où le moulin à eau vient à chômer, soit par les gelées, soit par les sécheresses, que le prix des farines monte le plus haut par rapport à celui des blés, et que par conséquent les bénéfices du négociant meunier sont les plus grands; c'est sans aucun doute à cette circonstance qu'est dû le fait constant que les moulins à vapeur, dans les mains de négociants habiles et prudents, se soutiennent en présence des moulins à eau, dont les frais sont beaucoup moins considérables.

Mais comme la machine à vapeur présente nécessairement quelques chances imprévues qui n'existent pas avec des roues hydrauliques, et qu'elle demande plus de soins pour bien fonctionner, nous concluons, du compte précédent, que dans cette position, et à ce prix, le moulin à eau est plus avantageux que le moulin à vapeur.

670. *Frais du même moulin à eau, situé hors de la ville.* Si d'un autre côté on le suppose monté hors de la ville et à six kilomètres de distance, tandis que le moulin à vapeur pourra s'établir au milieu de la ville, la question sera entièrement changée; car aux frais de location d'un cours d'eau semblable, qui ne s'élèveront plus qu'à environ. . . 5,000 fr.

Et aux intérêts et remboursement des dépenses
à y faire. 1,800

Il faut ajouter :

Quatre chevaux, dont un de cabriolet, à 2 fr.

A reporter 6,800 fr.

	<i>Report</i>	6,800 fr.
par jour, compris le renouvellement des chevaux, harnais, maladies, sur 365 jours.		3,000
Un charretier.		600
Bureau en ville et commission pour chargements et déchargements, au moins.		2,000 -
Sur 300 jours de travail, frais.		<u>11,000 fr.</u>

Soit par jour, 35 fr. 66 c.

Un moulin à vapeur aura en outre besoin d'un cheval et d'un charretier que nous avons ici comptés, et que l'on peut évaluer à 1,000 ou 1,200 fr. par an, ce qui portera ses frais à 40 fr. par jour : mais aussi, le meunier établi hors de la ville perdra en courses et en absences, soit de l'établissement, soit de son bureau en ville, au moins la différence de frais qui dans le compte ci-dessus est à son avantage : de sorte que cet avantage, selon nous, devient essentiellement nul, et il se trouve, au contraire, tout entier du côté du moulin à vapeur qui travaille 30 ou 40 jours de plus par an que le moulin à eau, et qui exécute ce travail dans les moments les plus avantageux pour la vente, tandis que précisément alors le moulin à eau est obligé de chômer.

674. Cette dernière considération deviendrait nulle, s'il s'agissait d'un établissement d'un genre différent ; mais il resterait toujours en faveur de la machine à vapeur, l'avantage très-important de pouvoir s'établir au centre des relations de la ville, d'être sur place pour recevoir toutes les communications et toutes les demandes des négociants et voyageurs, qui ne vont pas chercher un établissement situé loin de la ville, et il s'en présenterait en outre de nouvelles, comme la

difficulté de se procurer des ouvriers, et le prix plus élevé qu'il leur faudrait accorder, s'il s'agissait d'une filature de coton.

Ces données ne sont sans doute pas parfaitement exactes : cependant elles peuvent suffire pour guider dans un calcul semblable, et indiquer les points sur lesquels l'attention doit se porter spécialement.

672. *Compte des frais de moteur d'une filature de coton sur machine à vapeur et sur cours d'eau.* Nous devons à l'obligeante amitié de M. Crépet les notes suivantes sur la comparaison des machines à vapeur et des cours d'eau pour filature de coton. Il insiste d'abord très-fortement, en parlant d'une filature à eau placée à douze kilom. de Rouen, sur les inconvénients de l'éloignement pour les placements de marchandises, et les achats de matières premières; sur l'absence de population ouvrière dans les villages, et le désagrément d'être obligé de plier sous les ouvriers que l'on occupe, etc. Il revient sur le danger de passer par les mains des commissionnaires, qui ne présentent jamais vos marchandises qu'en concurrence avec d'autres marchandises semblables dans le même magasin, ce qui force à vendre à un cours basé sur le prix de ceux qui sont pressés d'argent.

Vient ensuite le compte proportionnel de frais généraux qu'il établit pour une machine à vapeur de douze chevaux, et un cours d'eau de même force. La première montée à Rouen hors barrière : le second situé seulement à douze kilomètres de la ville.

Il suppose que la machine à vapeur n'est pas surchargée, les 12 chevaux conduisant 6,000 broches avec les accessoires à 3,000 tours par minute.

Chaque broche fera, moyennement au n° 26, par chaque semaine de 81 heures de travail, $1\frac{1}{4}$ de kil. de fil de coton. Il admet, pour plus de simplicité, que le temps de travail sera

le même dans les deux établissements, les chômages pour gelées et sécheresses couvrant et au delà les chômages d'entretien des machines à vapeur (cette concession est tout à l'avantage des moulins à eau, qui ont beaucoup plus de chômages que les machines à vapeur, même de Woolf).

Il admet aussi que l'on ne fera sur aucun des deux moteurs du fil à la continue.

FRAIS GÉNÉRAUX DE LA MACHINE À VAPEUR.

Local pour filer 1,500 kil. par semaine, et logement du propriétaire au moins à loyer.	4,500 fr.
Impôt foncier hors ville.	300
Intérêts du moteur.	1,500
Dépréciation du moteur.	1,500
Graisse, mastie, chanvre, etc.	400
Réparation annuelle.	800
Un chauffeur.	1,000
Houille. Treize heures et demie de travail à 36 kil. par heure; 486 kil. à 4 fr. 50 c. pour 100 kil., prix moyen; — 22 fr. par jour, et par an.	6,600
Total des frais généraux.	<u>16,600 fr.</u>

673. *Compte annuel des frais généraux, du cours d'eau.* En 1820, à peu près, les cours d'eau se louaient, aux environs de Rouen, 16 et 20 c. par kilogramme de coton qu'ils étaient capables de filer dans l'année; aujourd'hui ce loyer, y compris les bâtiments nécessaires à l'établissement des machines, se paie 10 cent. par kilogramme. Ainsi, 78,000 kil. par an,

à 10 cent. 7,800 f. 00c.

Impôt foncier. 500 »

Un cheval et entretien. 600 »

Cabriolet et entretien. 300 »

Les veilleuses se paient presque toujours

75 c. par semaine de plus qu'en ville, soit

37 fr. par an. A n'en compter que 7 dans une

carderie qui fera 1500 kil. par semaine. 259 »

Eclairage pour les ouvriers à leurs pièces,

comme le fileur béliçien, les dévideuses, qui

ne leur est pas compté en ville, et qui l'est hors

ville, soit 60 becs à 50 c. par bec, terme moyen,

30 fr. par semaine pendant 22 semaines. 960 »

Port de marchandises, tant pour cotons en

laines que pour filés, à 75 c. par 50 kil., sur

au moins 88,000 kil. de cotons, huile et autres

provisions. 1,312 50

On paie les fileurs en ville 28 c. le kil. au

n° 28 ou 29, à la campagne ordinairement 28 c.

au n° 26, et 29 c. pour le n° 28. Différence :

1 c. par kilogramme. 750 »

Magasin en ville, pied-à-terre, impôt. 800 »

Dépense du cheval une fois par semaine. 100 »

Transport, commissions journalières, dif-

férence en plus pour serrurerie et menui-

serie. 600 »

Un commis capable de diriger les ventes,

sans la nourriture, au moins. 2,500 »

Total des frais. 16,381 f. 50c.

674. Comparaison. Pour rendre la position des deux fila-

tures analogue, il admet que le propriétaire vende lui-même ses produits; s'il paie une commission pour cet objet, elle sera de 1 pour 100, et sur 300,000 fr. de ventes et achats, elle s'élèvera à près de 3,000 fr. On voit donc qu'en définitive l'avantage d'être sur place, à portée de diriger ses affaires soi-même, et les ventes beaucoup plus avantageuses que l'on fait, donnent une supériorité réelle aux machines à vapeur. Aussi l'avis de M. Crépet est-il entièrement d'adopter, en pareil cas, une machine à vapeur sur place, au lieu d'un cours d'eau éloigné.

675. *Valeur d'un cours d'eau en Normandie.* Nous ajouterons, comme un renseignement qui peut être utile aux manufacturiers, qu'en Normandie on vend, en général, les cours d'eau avec bâtiments d'exploitation, sur un revenu compté à 7 ou 8 pour 100. Ainsi le cours d'eau dont nous parlons ici, qui rapporte 7,800 fr. de loyer, vaudrait 100,000 fr. Un cours d'eau sans bâtiments, s'il est d'une faible puissance et bien placé, vaut à peu près 2,000 fr. par force de cheval; et s'il est considérable, 1,500 fr. seulement.

OBSERVATIONS SUR LA MANIÈRE DE TRAITER AVEC LES MÉCANICIENS.

676. Après avoir ainsi comparé les machines à vapeur entre elles, et avec les manèges à chevaux et les cours d'eau, nous allons nous adresser plus directement aux manufacturiers qui ont le projet d'employer quelques unes de ces machines, et leur indiquer la marche à suivre pour prendre sur toutes les questions qui se présentent alors une résolution motivée.

S'il s'agit seulement de remplacer un manège par une machine à vapeur, ou de transporter sur une machine à vapeur un établissement monté sur cours d'eau, afin de l'augmenter et de le rapprocher de communications plus importantes; s'il s'agit au contraire de transporter sur un cours d'eau un établissement monté sur une machine à vapeur, les notes succinctes que nous avons données plus haut suffiront pour tracer la marche à suivre, et se rendre un compte approché du véritable état des choses. Mais si, d'un autre côté, l'établissement n'est pas encore formé, il se présente, avant de décider quel moteur on doit employer, une foule de questions qui ne sont pas de notre ressort, et que nous ne ferons qu'indiquer sans les examiner.

677. *Questions à poser avant d'entreprendre une manufacture.* Celui qui veut former un établissement nouveau, doit rechercher avec soin et maturité, si cet établissement est une affaire de commerce plutôt que de fabrication, ou de fabrication plutôt que de commerce; car il n'y a pas de fabrication sans commerce; ils sont toujours mêlés, et la question est cependant très-différente; si ses goûts, ses habitudes, ses études, sa capacité, sa constance, sont en rapport avec l'industrie où il va s'engager, et si de ce côté il sera maître de son affaire, ou tributaire d'un commis et d'un contre-maître;

Si ses ressources pécuniaires, après avoir formé l'établissement entier, en ajoutant aux devis, avec quelque soin qu'ils aient été faits, une très-large part pour les chances d'erreur ou d'augmentation, suffiront aussi largement au roulement de l'affaire, et de quel genre sont ces ressources, personnelles ou étrangères, parce que les chances et les conditions sont essentiellement différentes.

Si l'affaire est bonne en elle-même, indépendamment de ces circonstances personnelles et préliminaires, c'est-à-dire quels sont :

- Les frais d'établissement ;
- Ceux de fabrication de tout genre ;
- En matières premières ;
- Main-d'œuvre ;
- Impôts ;

Intérêts des capitaux engagés en bâtiments, machines ou loyers, entretien de bâtiments, machines et ustensiles, comptés tous largement ;

Renouvellement de tous ces objets et remboursement annuel d'une portion de leur prix d'achat, comme réduction de valeur ;

Chances d'accidents, incendies, faillites, chômages ;

Frais de bureau, voyages, transports ;

Intérêts des fonds roulants sur la masse des avances à faire :
escomptes sur les ventes ou commissions ;

Frais imprévus ;

Quelles ressources le pays peut offrir pour l'approvisionnement des matières premières, et s'il n'en résultera pas une hausse dans leur prix ;

S'il trouvera sous sa main une population manufacturière déjà formée, accoutumée aux travaux de ce genre, ou s'il sera obligé de la former lui-même ; s'il pourra se procurer assez d'ouvriers pour les besoins de la fabrication et l'entretien des machines ;

Quel est, en ajoutant l'évaluation de toutes ces chances aux frais de fabrication, le revient de la marchandise fabriquée ;

Quel est le prix courant de vente sur place s'il y a un marché ; quels sont les débouchés sur place, et au besoin les débouchés éloignés, et les moyens de communication et de transport, en comptant dans les deux cas sur une baisse dans le prix, afin d'avoir une marge suffisante ;

Si la marchandise fabriquée est d'une consommation assez

restreinte, soit par son prix élevé, soit par le peu d'emploi qu'elle trouve, pour que l'on ait à craindre de voir les produits de ce nouvel établissement opérer une baisse subite; si la fabrication est concentrée dans un assez petit nombre de mains, pour que l'on puisse redouter une coalition qui tenterait d'écraser le nouvel établissement par une forte réduction dans les prix;

Si, au contraire, la marchandise est commune, d'un emploi très-étendu, et livrée à des prix assez bas pour que l'on n'ait rien de pareil à prévoir, et que l'on soit toujours sûr de vendre facilement, à la faveur d'une différence très-légère, toutes les quantités fabriquées, ce qui offre autant d'avantages que de sécurité;

S'il existe dans le pays des établissements du même genre, et s'ils prospèrent: c'est une des plus fortes garanties que l'on puisse trouver;

Dans le cas où la fabrication serait neuve, de quel poids doivent être dans la question, les grandes difficultés, inévitablement liées à l'établissement d'une fabrication nouvelle, et au développement de ses débouchés;

Quelles chances de concurrence prompte il peut rencontrer, ce qui dépend et des moyens de conserver les procédés secrets, et de l'importance des capitaux nécessaires pour former un établissement rival;

Quelle étendue il doit donner à sa fabrication pour la mettre en rapport avec les ressources du pays en matières premières, les débouchés et les moyens pécuniaires dont il peut disposer.

678. *Choix de la machine à vapeur.* L'indication de ces questions, quoique incomplète, ne sera pas cependant sans utilité pour les hommes qui ne se sont pas encore occupés d'industrie. Nous les pensons résolues, et nous suppo-

sons le manufacturier décidé aussi à prendre une machine à vapeur.

Les localités étant choisies, il doit s'assurer s'il y trouvera de l'eau de bonne qualité, en quantité suffisante pour alimenter sa machine, et plus grande encore s'il y a lieu à prendre une machine à basse pression. (470) Un puits creusé décidera la question : en y établissant deux ou trois pompes à bras, on jugera sans peine s'il peut suffire largement à tous les besoins, et on essaiera si l'eau est douce et savonneuse. (474) Les calculs que nous avons donnés plus haut guideront ensuite le manufacturier dans le choix du système de machine à vapeur à adopter. (628) S'il a de l'eau en grande abondance, et de la houille à 8 ou 10 fr. les 1000 kilogrammes, ou au-dessous, il prendra une machine à basse pression. Si au contraire la quantité d'eau est moins grande, et la houille plus chère, il se décidera pour une machine à moyenne pression et à deux cylindres, en observant que plus la machine dont il a besoin sera forte, plus l'avantage des machines de Woolf sur celles de Watt sera grand, et plus par conséquent il faudra que le prix de la houille soit bas pour s'arrêter à ce dernier système, parce que les frais de consommation de la houille augmentent beaucoup plus rapidement que les autres frais des machines à vapeur; et par conséquent si pour une machine de douze chevaux la limite du prix de la houille où commence l'avantage des machines de Watt est à 8 ou 10 fr., pour une machine de 30 ou 40 chevaux, cette limite devra descendre au-dessous (646).

Ainsi nous admettons que le manufacturier qui veut former un établissement a positivement arrêté ses idées sur une machine à vapeur, et qu'il est au moment d'entrer en relations avec les mécaniciens pour cet objet.

679. *Du marché à passer avec les mécaniciens.* La première question qui se présente est celle de la force à donner à la

machine ; deux observations sont ici nécessaires. En premier lieu , il est très - important de prendre en commençant un établissement ; une machine plus puissante qu'il n'est nécessaire pour conduire les ateliers projetés ; c'est le seul moyen de se réserver la possibilité d'augmenter l'établissement , sans être obligé de surcharger la machine. Nous avons vu plus haut combien cette surcharge est funeste, aussi bien aux mouvements de communication qu'aux moteurs (553) ; c'est la plus grande chance d'accidents qu'un manufacturier puisse mettre contre lui ; tandis qu'en prenant une machine plus forte , il réserve une marge suffisante aux accroissements que la prospérité de l'établissement ne peut manquer de rendre nécessaires. Nous avons vu peu de manufacturiers , qui n'aient pas eu occasion de regretter l'achat d'une machine trop faible. Et que de pertes de temps, que de dépenses pour en opérer le changement !

680. En second lieu , tout en déterminant la force de la machine qu'il veut acheter, le manufacturier ne doit considérer cette condition que comme secondaire, en ce sens que ce n'est pas une machine de telle force en chevaux qu'il lui convient d'acheter, mais une machine capable de conduire tant de métiers , et mieux de faire tant d'ouvrage ; c'est la seule méthode dans laquelle il pourra trouver des garanties : la seule qui, laissant de côté toutes les expressions peu nettes de force de chevaux, aille au but , et contienne un engagement positif, explicite, et franc de toute difficulté , puisqu'il est toujours facile de constater par experts si l'ouvrage demandé est fait dans de bonnes conditions de travail. Il est quelques cas où cette méthode ne pourrait pas être suivie : tel serait celui où l'on destinerait la machine à conduire des travaux de différents genres, comme dans une blanchisserie, une brasserie , ou quand la force nécessaire pour les exécuter est mal connue.

L'expérience a prouvé que les marchés passés entre les manufacturiers et les mécaniciens, pour la fourniture de machines de telle force de chevaux, sont trop souvent sujets à une foule de difficultés, et deviennent une source de procès funestes aux deux parties; parce que les conditions du traité ne sont pas posées nettement. L'emploi du frein dynamométrique de Prony a déjà tranché bien des procès de ce genre, quoique la certitude de ses résultats soit encore contestée; mais en laissant le mécanicien garantir le travail à exécuter, toute difficulté disparaît.

Quand la mécanique appliquée aux arts aura fait de nouveaux progrès, et que l'on aura perfectionné et répandu partout l'emploi du frein, alors la mesure directe de la force des machines pourra servir de base aux marchés, et en garantir l'exécution.

681. Jusqu'à ce moment, il faut traiter, autant que faire se pourra, pour que la machine puisse exécuter largement tout le travail dont on a besoin, en y ajoutant l'excès de force que l'on se veut réserver, et déterminer ce travail en quantités fixes. Ainsi, lorsqu'il s'agira de monter une filature de laine, on traitera pour l'achat d'une machine à vapeur capable de conduire un nombre déterminé de cardes, et de travailler par jour tant de kilog. de laine. Il en sera de même pour un moulin à blé, où l'on fixera la quantité de grain à nétoyer, moudre et bluter par 24 heures.

682. *Nécessité d'un ingénieur pour organiser l'ensemble des travaux.* Nous engageons encore les manufacturiers, en fixant en même temps la dépense, en combustible, à confier, autant qu'ils pourront le faire, à une même main l'organisation de leur établissement, afin de ne pas partager et par conséquent anéantir la responsabilité. Ils y trouveront en outre cet avantage, que s'ils ne se sont pas trompés dans le choix qu'ils ont fait de l'ingénieur auquel ils s'adressent, l'établissement sera formé avec plus d'ensemble, et

ils pourront au moins exiger qu'il leur soit livré en activité, c'est-à-dire à l'épreuve.

Beaucoup de manufacturiers, fort instruits du reste, sont persuadés qu'ils trouveront une économie notable à diriger une partie des travaux; en ne traitant que pour ceux qu'il leur est impossible d'exécuter par eux-mêmes. Il est certain, et nous en appelons là-dessus à l'expérience de la majeure partie des industriels, qu'ils n'obtiendront pas, sans de longues et coûteuses expériences, un succès, certain et facile s'ils se fussent adressés à des hommes déjà expérimentés dans les constructions dont il s'agit, et au courant de toutes les difficultés imprévues qu'elles peuvent présenter, de toutes les améliorations qui y sont chaque jour introduites. On ne fait bien que ce que l'on fait constamment et spécialement: et c'est sous ces seules conditions qu'on le peut faire avec économie. Un manufacturier croit pouvoir construire lui-même, sans conseil, des roues hydrauliques; il les étudie dans les ouvrages qui en traitent, mais il n'en a pas encore établi: s'il a besoin de pièces de fer et de fonte, il les paiera probablement au prix que le mécanicien lui eût demandé, en se réservant un bénéfice, et ce qu'il économisera, ce seront à peine les honoraires du mécanicien, mais alors il n'aura aucune garantie. Il est presque impossible que sa roue ne présente pas quelques défauts, évités sans peine par une main plus expérimentée.

En un mot, tout travail est cher et imparfait quand il n'est pas exécuté par des hommes du métier: c'est une erreur bien dangereuse que la pensée de vouloir faire tout par soi-même, et de se passer des secours étrangers. On s'expose à autant de dangers, en voulant construire ou améliorer soi-même, sans conseils, une manufacture, que l'on connaît mal, et dont au moins, on ne peut connaître bien toutes les parties, à la

fois, qu'en voulant se soigner, sans médecin, dans une maladie grave.

683. Qu'un manufacturier étudie lui-même à fond toutes les branches de connaissances qui peuvent lui être utiles, c'est, un devoir, et la plus grande garantie de succès. Mais ses connaissances, quand il s'agit d'un travail important, doivent lui servir plus à juger l'homme à qui il veut confier des travaux, et les procédés qu'il veut employer, qu'à les appliquer lui-même. Quelque instruit qu'il soit, il ne sait pas tout dans chaque branche. Ainsi un fabricant de toiles peintes a-t-il un calorifère à construire, il fera sagement de s'adresser à un ingénieur qui en ait déjà construit ; et ce qu'il paiera de plus pour honoraires de ce travail, sera le prix de la garantie morale et des garanties positives qui lui sont données, par l'expérience du constructeur, et par le marché fait avec lui. Nul manufacturier éclairé n'hésitera à reconnaître combien il est important de marcher sans tâtonnements dans l'organisation ou l'amélioration d'un atelier, combien surtout est difficile le choix des procédés et des machines à adopter.

684. *Honoraires de l'ingénieur.* Mais si les manufacturiers doivent imposer des conditions sévères aux mécaniciens et aux ingénieurs, et en exiger des garanties positives, il faut aussi qu'ils se décident à payer ce que valent ces conditions et ces garanties. Le cours naturel de l'industrie, quand il n'est contrarié par aucune loi, règle directement le prix des choses sur leur prix coûtant, augmenté des chances que présente l'opération ; parce que les chances, ou leur prix d'assurance, sont encore une partie essentielle du prix coûtant, et que toute assurance doit être payée. Ainsi le prix des marchandises coloniales, à part tout ce qui doit être attribué à l'action des lois de douanes et des lois coloniales, ce prix, disons-nous, est composé du prix d'achat aux colonies, des frais de transport, des intérêts des capitaux, des bénéfices du

négociant qui les fait venir, et en outre des chances soit de pertes, soit d'avaries, soit de fausses spéculations : sans quoi personne ne voudrait s'occuper de ce commerce.

685. *Du prix des machines.* Il en est de même des machines : en ajoutant à leur prix coûtant, le bénéfice légitime de toute industrie, qui doit être ici plus fort que dans beaucoup d'autres carrières, parce qu'il exige des connaissances plus étendues, une plus longue et plus coûteuse expérience, des travaux plus dangereux et plus pénibles, qui usent l'homme plus vite, et ne peuvent se continuer aussi tard dans la vie, que de simples opérations de commerce : parce que ces travaux sont plus longs à exécuter, le renouvellement des capitaux moins fréquent, etc., on n'obtient pas encore la véritable valeur de ces machines, car on n'a pas fait entrer dans le calcul toutes les chances d'accidents, de retards même, auxquelles le mécanicien est exposé, tous les frais de modèles qui sont changés si fréquemment par suite de perfectionnements, toutes les pièces déjà préparées que ces perfectionnements réduisent à la seule valeur de la vieille fonte et du vieux fer, etc.

C'est seulement ainsi que l'on aura le vrai prix de la machine ; et on doit donner une sérieuse attention à cette dernière considération, parce que là est une des causes, les plus puissantes qui entravent les progrès de la mécanique en France ! Pour perfectionner la machine et l'appareil les plus simples, il faut souvent des dépenses considérables et beaucoup de temps, la plus grande des dépenses : le succès ne couronne pas toujours les efforts les mieux dirigés et les plus constants, et si la tentative est vaine, tous ces frais sont entièrement perdus. Ils doivent alors être couverts nécessairement par une autre affaire qui réussit, et qui a ainsi deux dettes à payer, la sienne et celle de l'affaire manquée ; de plus chaque perfectionnement introduit dans une

machine, dans un métier à filer, par exemple, rend inutile, et pour mieux dire, oblige de briser ou de refondre tous les métiers, ou au moins les pièces déjà construites sur l'ancien modèle; dans un grand atelier, cet article forme, pour le mécanicien consciencieux et avide de perfectionnements, une perte considérable.

686. *Nécessité d'un prix qui permette aux mécaniciens des perfectionnements.* Il résulte de ce fait que notre cadre nous défend de développer, malgré son importance, mais qui est constant et facile à prouver, que l'on n'obtiendra des perfectionnements nombreux et importants en mécanique, qu'en n'hésitant pas à payer les bonnes machines à un prix avantageux pour le mécanicien. Si on le lui refuse, si on lui marchandé les produits de son talent et de sa constance, quand le succès les a couronnés, comme une denrée qui a cours sur le marché, et qui se cède sans frais, sans chances, de la main à la main; avec un bénéfice de 1, et quelquefois 1 1/2 0/0, le mécanicien s'abstiendra de tout perfectionnement, de toute amélioration dont on ne veut pas lui payer les chances; il construira sur les modèles et les procédés déjà connus et vérifiés par l'expérience, parce que là il est sûr du résultat, et n'a que peu d'accidents à prévoir. Voilà ce qui arrive à bien des manufacturiers, qui traitent souvent le génie comme une marchandise courante, et dont l'escompte est réglé chaque jour par des tarifs de bourse. Au contraire, le manufacturier sage et éclairé, qui veut acheter des machines, doit chercher à se procurer les meilleures, et en disant les meilleures, nous ne connaissons pas de limite au bien. Rien n'est trop bon, non pas sous le rapport du luxe, toujours inutile et ruineux, mais sous les rapports de la solidité et du soin dans l'exécution, parce qu'il n'y a pas de médiocrité en machines. La différence de prix d'une mauvaise machine à une bonne est si faible, que ce misérable avantage

est bientôt couvert et dépassé par les frais de raccommodage, d'entretien, et les pertes de fabrication ou de chômage.

687. *Garanties morales des constructeurs.* La véritable économie est surtout dans l'achat des bonnes qualités, en marchandises comme en outils; et en cela, la première, la plus haute garantie, est dans le choix du constructeur, son talent, sa moralité. Celui-là seul mérite une confiance entière, qui, quand un marché est signé, ne se demande pas : *que dois-je faire pour gagner le plus possible sur ce marché ?* mais bien : *que dois-je faire pour l'exécuter le mieux possible ?* Le manufacturier exigera, comme nous l'avons dit, des garanties nettes et détaillées, pour être assuré de la réussite de son établissement; il paiera un prix suffisant, pour avoir le droit d'exiger de bon ouvrage, sans se baser sur les prix qui lui sont demandés pour des machines du même genre, mais moins bien construites; et en même temps qu'il tiendra à l'exécution des conditions qui intéressent la sûreté et la bonne marche de son établissement, quand ces conditions seront bien remplies, et qu'il aura lieu d'être satisfait des résultats, il ne se montrera pas difficile sur d'autres points accessoires, dont l'un des principaux est le temps nécessaire pour monter l'établissement.

688. Quiconque a eu occasion de s'occuper de travaux de ce genre, sait combien il est difficile, dans une affaire étendue, de ne pas rencontrer quelques obstacles imprévus, des pièces manquées à renouveler, etc., qui entraînent un retard aussi fâcheux sans doute pour le manufacturier que pour le mécanicien, mais que souvent l'on eût évité en négligeant quelques autres parties de l'ouvrage. Or, quand le mécanicien a rempli ses obligations, et il doit les remplir sans hésiter, dans toutes leurs conséquences, et avec cette bonne foi, cet amour du bien qui ne sont pas renfermés dans le cercle étroit d'un engagement écrit, mais qui vont jusqu'où les pousse le besoin de

ne rien laisser imparfait ; alors, disons-nous, le manufacturier doit de son côté montrer qu'il sait apprécier le travail et la manière dont il a été exécuté ; il doit, dans les circonstances qui se peuvent présenter, agir envers le mécanicien, comme le mécanicien a agi avec lui, en se rappelant que lui, de son côté, n'a aucune chance à courir, qu'il est assuré contre toutes, que, quelle que soit la perfection apportée dans l'exécution des machines, et dont il profite directement, il n'a rien à payer au-dessus du prix arrêté, tandis que le mécanicien est exposé à une foule de chances, que le meilleur prix ne compense pas toujours :

Nous espérons que l'on ne nous fera pas un reproche d'avoir insisté sur les devoirs du manufacturier envers le mécanicien, en nous accusant de plaider notre propre cause, et que l'on reconnaîtra ici, comme partout ailleurs, notre profonde conviction ; puisque nous avons développé sans hésiter et franchement les devoirs du mécanicien envers le manufacturier, et que nous avons indiqué à celui-ci, les garanties qu'il doit exiger.

Pour compléter cette courte instruction, disons un mot de la manière de recevoir et d'examiner les machines.

689. *Examen et réception des machines à vapeur.* Le manufacturier, qui n'a pas jugé nécessaire de demander l'assistance d'un ingénieur, ne doit pas se contenter d'étudier la machine à vapeur que l'on monte dans ses ateliers, quand elle est montée : il en doit suivre et surveiller la pose, pour s'assurer que l'on y apporte tous les soins minutieux réclamés pour cette opération, et qu'aucune précaution n'est négligée pour en assurer la solidité, et la marche régulière et économique (599) ; il ne doit pas seulement suivre avec le plus grand soin la construction des fourneaux, parce que la plupart du temps les maçons qui l'exécutent ne la comprennent pas, et en changent toutes les dispositions, ou au moins les proportions, sans vouloir se rendre compte ou se laisser

convaincre de leur importance, ce qui plus tard expose le manufacturier à chercher longtemps les causes, soit du mauvais tirage, soit du mauvais effet des fourneaux (147). Le manufacturier doit encore suivre la pose de chaque pièce de la machine, et l'examiner avant le montage et pendant le montage, parce que c'est alors qu'il en découvrira le mieux les défauts, qui plus tard seraient cachés.

Quand la machine est complètement posée et prête à fonctionner, il faut en passer en revue toutes les pièces avec soin, vérifier les ajustements des grains du parallélogramme, de la tête de la bielle, des pistons, etc.; si l'on voit qu'ils sont négligés, on doit concevoir quelque méfiance sur le soin avec lequel ont été travaillées toutes les pièces dont on ne peut pas constater facilement l'exactitude. Cet examen terminé, on chauffe les chaudières en étudiant leur marche, le tirage des fourneaux, quand ils sont bien secs; car au moment où on y allume le feu pour la première fois, si la construction est récente, l'humidité du fourneau refroidit tellement la fumée, qu'elle sort entièrement froide de la cheminée, et qu'il n'y a aucun tirage. Après une ou deux heures de chauffe, et aussitôt que le fourneau est sec, le tirage se développe tout à coup.

690. On examinera dans les premiers jours de travail si le feu est vif, et si l'on est obligé de le modérer au moyen du registre, pour régler sa marche sous sa charge ordinaire, afin de se ménager de la marge, quand les carreaux commenceront à contenir de la suie. (577.)

La machine à vide doit s'enlever sous la plus faible pression, et prendre aisément la plus grande vitesse; si elle était lourde à vide, elle souffrirait plus encore à charge.

Si la machine est à deux cylindres, elle doit enlever sa charge sous une pression qui ne dépassera que peu 2 atmosphères au manomètre; s'il fallait plus de pression, à moins

que la charge ne soit forcée, il y aurait lieu de craindre que, plus tard, quand les pistons ne seront plus aussi propres, les mastieages en aussi bon état, elle n'exigeât de la vapeur beaucoup plus forte:

On fera cependant attention qu'une machine ne possède pas toute sa légèreté dans les premiers jours de sa marche. Il en est de même lorsque, après avoir longtemps travaillé, on en démonte les pistons pour un nettoyage. Ceci s'applique à toute espèce de machines, et ce n'est qu'après un certain espace de temps que, les pièces de cuivre s'étant usées, et pour ainsi dire moulées sur celles de fer et de fonte, les frottements sont adoucis, et la machine parfaitement légère.

691. Il faut s'assurer ensuite que la machine ne fait aucun bruit, ne donne aucune secousse; que ses pièces fixes, comme les cylindres; les colonnes et surtout le palier de la manivelle, n'éprouvent aucun ébranlement; que le condenseur ne donne pas d'air, que la pompe de puits fournit plus d'eau qu'il n'est nécessaire pour le service de la machine chargée; que les tiges de pistons descendent verticalement, et sans forcer d'aucun côté; que les boîtes à étoupes tiennent bien la graisse (s'il en était autrement, il serait probable que la course des tiges de piston ne serait pas verticale); que les parties de la machine qui doivent être mastiquées, sont dressées et ajustées avec beaucoup de soin, comme les bords des cylindres sur lesquels reposent les plateaux, comme les plateaux des boîtes; etc., quand elles ne sont pas bien dressées, on use beaucoup plus de mastie, on se donne beaucoup plus de peine, et l'on ne fait que de mauvais mastieages. Nous recommandons fortement cette condition souvent négligée, et qui est la cause de bien des désagréments et des pertes de combustible, par l'air que ces mauvais ajustements admettent, tandis que les bons ajustements ne se dérangent jamais; il faut s'assurer aussi que tous les tuyaux à vapeur ont un dia-

mètre assez grand, que les soupâpes de la pompe alimentaire tiennent bien l'eau; enfin que les tiroirs et soupâpes des boîtes ferment parfaitement et sont bien réglés. (560.)

692. *Méthode d'essai des fourneaux et de la consommation des machines.* Il est nécessaire de consigner ici quelques observations sur la méthode à suivre pour soumettre une machine à vapeur à des essais concluants, et vérifier si les engagements du mécanicien sont loyalement remplis.

Nous admettons qu'il a garanti une *puissance en chevaux* et une *consommation de houille* déterminées.

Bien des mécaniciens, quand ils éprouvent la consommation d'une machine, pèsent la quantité de houille qu'elle emploie en *trois ou quatre heures*, et sur ces courts résultats annoncent et garantissent des consommations, que le manufacturier, au bout de l'année, se trouve avoir dépassées de 40 et 50 0/0 et quelquefois plus.

693. *Causes d'erreurs dans des essais trop courts.* C'est qu'il y a là vingt sources d'erreurs. D'abord, il est impossible d'évaluer exactement, la quantité de combustible qui reste sur la grille, et la pression de la vapeur avant et après l'essai; puis, on ne tient pas compte du temps nécessaire pour chauffer la machine; puis, d'après les intéressantes observations de Wesserling (592, 593), la quantité de vapeur produite par un combustible donné varie du matin au soir, et par conséquent suivant que le fourneau est poussé plus activement, ou qu'on le laisse ralentir. Le matin, il faut échauffer le fourneau et ses carneaux: la dépense est plus grande; vers le soir, tout étant rouge, le chauffeur ralentit son feu, et utilise à produire de la vapeur tout ce que les parois du fourneau avaient absorbé le matin: la dépense de combustible est alors beaucoup moindre; enfin, après l'extinction totale du feu, cette chaleur accumulée dans la brique des parois, produit encore considérablement de vapeur; et dans les fourneaux de Wesserling, qui avaient à peu près 30 chevaux de puissance, la quantité de vapeur ainsi

développée après le travail était de 200 k. Ce qui répond exactement à la quantité de houille que l'on consomme le matin pour réchauffer le fourneau.

694. *Méthode à suivre pour faire une expérience exacte.* Ainsi, pour qu'un essai soit positif et certain, il faut le faire durer au moins un jour entier, et y comprendre la quantité de houille brûlée pour chauffer la machine; comme aussi on comprendra dans l'eau évaporée, celle qui se vaporise le soir après le travail. Pendant cet essai de la dépense du combustible, la machine étant réglée à sa vitesse, on lui fait subir un essai au frein.

Les résultats que nous avons donnés sur les variations de dépense du combustible, suivant la saison et l'état atmosphérique (580), montreront aux esprits exacts que, pour que cet essai soit parfaitement concluant, il faut le répéter plusieurs jours de suite. La multiplicité des résultats est la condition fondamentale de la certitude dans toute science expérimentale.

Par cette méthode, jamais un manufacturier ne sera induit en erreur sur des questions aussi importantes. On observera que, pour éviter toute difficulté, il est utile d'insérer dans le contrat que l'on passe avec le mécanicien, la forme dans laquelle les essais doivent s'exécuter; tels sont les objets principaux sur lesquels doit porter l'examen du propriétaire. Quant aux inconvénients que le travail de la machine pourrait lui découvrir, le temps exigé pour la garantie lui apprendra s'ils tiennent à un défaut, de la machine même, de son montage ou de sa conduite.

695. On trouvera, note 15, la marche à suivre pour obtenir l'autorisation nécessaire à l'établissement d'une machine à vapeur.

CALCUL ET MESURE DE LA FORCE DES MACHINES A VAPEUR.

696. Notre but est de présenter ici les procédés employés,

pour calculer la force des machines, ou pour la mesurer, ils sont loin de donner des résultats rigoureux; parce que, bien que l'on puisse se rendre un compte approximatif de la force développée, et de celle dépensée en frottements et non utilisée, on ne peut pas faire entrer dans le calcul les circonstances particulières à la machine que l'on évalue, comme le degré de perfection avec lequel elle est construite, le bon état de son entretien, etc.; et l'on est obligé de s'en rapporter à des formules générales qui comprennent sous une seule expression, toutes ces pertes de force, pour un même système de machines.

Le seul procédé constant et positif serait évidemment la mesure directe de cette force, qui se trouverait ainsi appréciée en produit net, c'est-à-dire par son effet utile. Mais les moyens qu'on y a appliqués jusqu'à ce jour sont encore difficiles à pratiquer, ce qui s'oppose la plupart du temps à leur emploi. Nous en parlerons cependant avec assez de détails, pour que l'on puisse au besoin en faire usage; il est à désirer que cet usage se répande, d'abord à cause de la certitude qui s'introduirait dans la mesure des machines; ensuite parce qu'il fournirait le moyen de recueillir des résultats variés et précis, sur la quantité d'action qu'exigent les divers travaux industriels, et de former ainsi des tables très-utiles aux mécaniciens et aux manufacturiers.

697. Nous avons puisé la majeure partie des détails que nous donnons ici, dans le cours de mécanique industrielle de M. Poncelet, le seul homme qui, occupé de recherches mathématiques, ait bien senti comment elles devaient être appliquées à la mécanique pratique, comment elles en devaient diriger les expériences, en recueillir et comparer les résultats, et ait présenté, sous une forme simple, et réduit à une seule expression facile à concevoir, la mesure de toutes les forces mécaniques utilisées. M. Poncelet, à qui nous devons les plus

utiles conseils dans les constructions hydrauliques que nous avons faites, et qui nous honore de son amitié, a développé en peu de pages, dans son cours de mécanique industrielle, fait pour les artistes et ouvriers messins, la théorie des machines à vapeur, et donné avec la plus grande clarté la manière d'en calculer la force, et d'en apprécier les effets; ce sont ces résultats qui nous serviront de guide. En comparant les formules employées depuis quelques années pour calculer la puissance des machines à vapeur, nous y'avons trouvé peu d'accord et beaucoup moins de simplicité, sans plus d'exactitude, que dans la méthode de M. Poncelet, que nous avons cru devoir conserver seule. (Note 2.)

698. *Mesure commune des moteurs.* La force d'un moteur, quel qu'il soit, se mesure par la pression qui est exercée sur ce moteur, multipliant l'espace parcouru en une seconde, ou sa vitesse par seconde. Ainsi, la force d'une manivelle sur laquelle un homme travaille, est mesurée par l'effort qu'il y exerce, multipliant le chemin qu'elle parcourt en une seconde. Tout travail, et par conséquent celui d'une machine à vapeur, est mesuré de la même manière; c'est ce que l'on nomme *quantité de travail, quantité d'action.*

699. *Mesures de la force des machines à basse pression et sans détente.* Supposons d'abord, pour la simplicité du calcul, que la vapeur agisse pendant toute la course du piston avec la même tension, c'est-à-dire qu'il n'y ait pas de détente, rien ne sera plus facile alors que le calcul à faire. Si la vapeur est à une atmosphère de tension, c'est-à-dire si elle est seulement capable de soutenir un poids de 1 k. 033 par centimètre carré, il est évident alors que la pression totale exercée sur le piston sera égale à autant de fois 1 k. 033 qu'il y a de centimètres carrés dans la surface du piston. Si son diamètre est de 0 m. 27, on obtiendra sa surface en formant le carré de ce diamètre, ce qui donne $27 \times 27 = 729$ centimètres carrés, et multipliant ce

produit par $\frac{745}{100} = 573$ centimètres carrés, ce qui donne le rapport du diamètre carré au *diamètre rond*, c'est-à-dire la quantité à laquelle il faut réduire le carré du diamètre, pour avoir la surface du cercle de même diamètre.

Nous avons dit que la pression de la vapeur est égale à une atmosphère, ou 1 k. 033 par centimètre carré : la pression totale sera donc 573 centimètres carrés, multipliant 1 k. 033 = 592 k. Admettons maintenant, pour plus de simplicité, que la course du piston soit de 1 m. en 1 seconde, il résultera de là que la force de la machine sera égale à un effort de 592 k., parcourant 1 m. en 1 seconde, ou 592 k. multipliant 1 m., ce qu'on représente par cette expression 592 *kilogrammètres* ou 592 km. Si la vitesse du piston était de 0 m. 80 en 1 seconde, la force de la machine serait de $592 \times 0 \text{ m. } 80$, ou 414 km.

On admet, dans ce calcul, que le refroidissement qui a lieu par la surface des cylindres, et dont il se faut préserver autant qu'on le peut faire, est presque nul par rapport à la quantité de vapeur que dépense la machine dès qu'elle est en mouvement ; ce qui est exact. En même temps, la tension de la vapeur est mesurée avec un manomètre posé sur la chaudière, et la tension de la vapeur dans les cylindres est toujours un peu plus faible que dans la chaudière ; il est donc nécessaire de compter plutôt au-dessous de la force indiquée par le manomètre qu'au-dessus.

700. *Tension du condenseur en sens contraire du mouvement.* Il faut observer, d'un autre côté, que la pression exercée sur le piston, par la vapeur qui vient de la chaudière, n'est pas exercée pleinement et sans opposition, à part tout ce qui est dépensé en frottements ; car, dans toutes les machines à basse et à moyenne pression, on condense la vapeur dans de l'eau froide, et le plus ordinairement dans un vase séparé. Or, l'eau qui a servi à condenser cette vapeur a acquis une

température de 40° , par exemple, et à cette température la vapeur; ou l'eau chauffée, conservent une tension assez forte qui, en s'ajoutant à la tension de l'air resté dans le condenseur, et que la chaleur a chassé de l'eau de condensation, donne encore un effort qui n'est jamais moindre de 0 k. 075 par centimètre carré, et s'élève quelquefois à 0 k. 150. C'est donc ce dernier nombre qu'il est prudent d'adopter dans les calculs. Cet effort est, au reste, facile à mesurer en adaptant un manomètre au condenseur. (468.)

Quoi qu'il en soit, cette tension de 0 k. 15 par centimètre carré, restée dans le condenseur, agit évidemment en sens contraire de l'action de la vapeur de la chaudière, et contre-balance une partie égale de l'action de cette vapeur sur le piston. Pour calculer exactement l'effort développé par la vapeur de la chaudière sur un piston derrière lequel agit encore la tension de l'eau chaude et de l'air dégagé dans le condenseur, il faut donc retrancher de l'effort de la vapeur sur chaque centimètre carré du piston, l'effort contraire de la tension du condenseur. Il est évident que ce qui restera sera la différence de ces deux pressions, et par conséquent la pression réellement exercée sur le piston. Ainsi, dans l'exemple précédent, l'effort sur le piston est de 1 k. 033 par centimètre carré; l'effort en sens contraire ou de résistance est 0 k. 15. En retranchant cette dernière somme de la première, on voit que l'effort réel est de 0 k. 883, et que multipliant les 573 cent. carrés du piston par 0 k. 883, on obtient pour la pression réelle sur le piston 516 k. qui, multipliant la vitesse de 1 m. par seconde, donnent 516 km. ou un effort de 516 k., avec une vitesse de 1 m. en 1 seconde.

701. *Calcul d'une machine à haute pression sans détente.* S'il s'agit d'une machine à haute pression, dans laquelle la pression de la vapeur soit de 4 atmosphères, et celle du condenseur 0 k. 15, on calculera la force de la machine, en mul-

multipliant par 4 le nombre 1 k. 033, qui est la pression par centimètre carré, pour une atmosphère : ce qui donne 4 k. 132 par centimètre carré de la surface du piston, moins l'effort contraire de 0 k. 15, d'où résulte un effort réel de 3 k. 982 par centimètre carré qui, multipliant les 573 centimètres carrés du piston, donnent 2030 k. sur tout le piston ; et avec une vitesse de 1 m. en une seconde 2030 km. ; ainsi rien de plus simple que le calcul à faire pour avoir la force d'une machine à vapeur sans détente : c'est de multiplier la pression de la vapeur sur le piston, par le nombre de centimètres carrés contenus dans la surface de ce piston, et de multiplier le tout par la vitesse du piston en une seconde ; le produit est le *travail développé en une seconde par la vapeur*, ou le poids qu'elle soulève, avec un mètre de vitesse en une seconde.

702. *Machine à simple effet.* S'il s'agit de calculer la puissance d'une machine à simple effet, sans détente, c'est-à-dire d'une machine dans laquelle la vapeur n'agit jamais que d'un seul côté du piston pour le faire descendre, de manière que, dès qu'il arrive au bas de sa course, la communication avec la chaudière se fermant, et le vide se faisant sur le piston, au moyen du condenseur, ce piston remonte par le contre-poids attaché à l'autre extrémité du balancier (car ces machines ne sont employées que dans les épuisements de mines). L'opération est la même : on calcule l'effort exercé par la vapeur avec la vitesse que le piston a dans une seconde, pendant toute la descente du piston, si ce n'est qu'il n'y a aucun travail développé pendant qu'il remonte.

703. *Calcul de la vitesse du piston.* Pour calculer la vitesse du piston en une seconde, on déterminera combien la machine donne de coups de piston en une minute. Supposons que ce soit une machine de dix chevaux, et qu'elle donne 28 coups de piston, ou 56 demi-oscillations en une minute, avec une

course de 1 m. 03 par coup de piston; il est clair que le piston a définitivement parcouru en une minute un espace de $56 \times 1 \text{ m. } 03$ ou 588 mètres qui, divisés par 60, donnent 0 m. 980 en une seconde. Si la machine est à simple effet, la vapeur n'agit que pendant la descente du piston; ainsi il n'y a réellement que 28 courses, ou une vitesse moyenne moitié moindre.

704. *Calcul de la détente.* Mais, dans la plupart des machines, on laisse la vapeur se détendre pendant une partie de la course du piston, et il faut tenir compte de cette détente dans le calcul.

On détermine d'abord pendant quelle portion de sa course le piston reçoit l'action de la vapeur sans détente, c'est-à-dire est en communication avec la chaudière qui lui fournit de la vapeur. Supposons la course totale du piston égale à 1 m. 44, et la partie de cette course où la vapeur agit sans détente égale 0 m. 32. Il s'ensuit que la vapeur se détendra pendant une course de 1 m. 12, et qu'elle occupera alors un volume $4 \frac{1}{2}$ fois plus grand que celui qu'elle occupait au moment où la communication avec la chaudière a été fermée. Puisque 1 m. 44 est égal à $4 \frac{1}{2}$ fois 0 m. 32, la vapeur se sera donc détendue de 4 fois $\frac{1}{2}$ son volume primitif, et elle aura $4 \frac{1}{2}$ fois moins de tension à la fin de la course des pistons qu'au commencement. Mais quelle est la somme des pressions qu'elle a exercées pendant cette détente?

705. *Formule rigoureuse.* Voici la manière de le calculer exactement: en premier lieu, il est évident que pendant la première partie 0 m. 32 de la course, la vapeur ne s'étant pas détendue, la quantité de travail produite sera égale à la pression, que nous supposons $3 \frac{1}{2}$ atmosphères $\times 1 \text{ k. } 033 = 3 \text{ k. } 6155 \times$ la surface du piston dont le diamètre est supposé 0 m. 80, ou 5026 centimètres carrés, ce qui donne pour la pression exercée sur le piston 18174 k., et, multipliant ce

produit par le chemin parcouru 0 m. 32, on a 5816 km. environ.

Pour le reste de la course, on divisera l'espace restant 1m. 12 en un nombre pair de parties égales, en 4, par exemple, et désignant cet espace restant par les lettres *a e*. Les divisions faites aux points *b c d* seront *ab. bc. cd. de.* égales chaeune à 0m, 28.

En désignant par *P* la pression totale sur le piston, au point *a*, au commencement de la détente, que nous avons vue être 18174 k., on calculera les espaces parcourus et les pressions exercées successivement par la vapeur à mesure qu'elle se détend, en se rappelant qu'en vertu de la loi de Mariotte la vapeur dans ce cas-ci, aussi bien que les gaz, a une tension qui est en raison inverse du volume qu'elle occupe. Voyez la note 12, sur la compression de l'air dans les manomètres). De sorte que, quand elle occupe un espace deux fois plus grand, elle a une tension moitié moins grande : quand l'espace est triple, la tension est réduite au tiers : ainsi l'on a toujours la pression de la vapeur détendue, en divisant la pression primitive par le rapport du volume primitif et du nouveau volume : ce qui revient à multiplier la pression par le volume primitif, et la diviser par le nouveau volume : si cette pression est égale à 2 k. 4 par centimètre carré, et que le volume qui était égal à 1 soit devenu 3, la pression sera $\frac{1 \times 2 \text{ k. } 4}{3} = 0 \text{ k. } 8$.

On formera ainsi la table suivante des espaces parcourus, et des pressions correspondantes aux divers points de divisions,

Positions des pistons en	a	b	c	d	e
	centimètres.				
Espaces parcourus.	32	60	88	116	144
Pressions correspondantes.	P	$\frac{32}{60} P$	$\frac{32}{88} P$	$\frac{32}{116} P$	$\frac{32}{144} P$
Opérant le calcul.	18174 k.	9692 k. 8	6608 k. 7	5013 k. 5	4058 k. 7
Nombres des pressions.	1	2	5	4	5

Avec ce tableau des pressions aux divers points de division, on calculera facilement la quantité de travail développée pendant la détente par la règle suivante.

Pour obtenir cette quantité de travail, on additionne ensemble.

Les pressions extrêmes.....	18,474k. 4,058 7 }		22,532k. 7
Deux fois la somme des pressions de rang impair.....	2 × 6608 7		13,217 4
Quatre fois la somme des pres- sions de rang pair.....	4 × (9692k. 8 + 5043k. 5).....		78,825 5
			94,555k. 3

On multiplie alors cette somme par l'espace constant compris entre les 4 divisions que nous avons faites dans la course de la vapeur qui se détend, c'est-à-dire par 0 m. 28, ce qui donne 26391 km., et on prend enfin le tiers de ce produit 8797 km., qui est la quantité de travail développée par la vapeur sur le piston, pendant qu'elle se détend : il faut y ajouter ensuite la quantité de travail développée par la vapeur dans la première partie de la course, pendant qu'elle agit sans détente, et que nous avons trouvée être 5816 km.; on aura donc pour la quantité totale de travail $8797 + 5816 = 14613$ km. c'est le travail pendant une demi-oscillation du piston; pour avoir le travail d'une seconde, il faut encore multiplier ce produit par le nombre de demi-oscillations en 1 minute, et le diviser par 60 secondes : le quotient sera le travail en 1 seconde.

706. *Formule moins exacte.* Dans le cours des travaux industriels on peut se contenter de diviser l'espace dans lequel la vapeur se détend en 2 parties égales, au point *c*, chacune de 0 m. 56, et faire le calcul par la même méthode. Ce moyen est plus court, plus simple, et donne des résultats qui diffèrent très-peu des premiers.

On aurait trouvé ici pour le travail produit par la détente

$\frac{1}{2} \times 0 \text{ m. } 56 (18174 \text{ k.} + 4038 \text{ k. } 7 + 4 \times 6608 \text{ k. } 7) = 9081 \text{ km.}$
 puisque les pressions de rang pair disparaissent. On ajoute de même ce travail à celui de la vapeur sans détente 5816 km. et le total est 14897 km.

707. *Méthode abrégée pour calculer le travail des machines à vapeur* (1). « La méthode que nous donnons ici repose sur ce principe que, lorsqu'un volume donné de vapeur à une tension déterminée, se détend d'une même quantité, il développe toujours la même quantité de travail. Il suffira donc de calculer d'avance une table qui donne le travail transmis au piston d'une machine à détente quelconque, par un certain volume de vapeur prise à une tension déterminée, et pour les diverses hypothèses que l'on peut faire sur cette détente, ou sur le rapport du volume occupé par la vapeur, au moment où elle va se rendre au condenseur, à celui qu'elle occupait à l'instant où elle s'est détendue sous le piston de la machine. On en conclura facilement dans chaque cas particulier, et par une simple proportion, la valeur même du travail que dans toute autre circonstance elle serait capable de développer sur les pistons d'une machine différente.

« Supposons, par exemple, que nous sachions, d'après la table, qu'un mètre cube de vapeur introduite, à la tension atmosphérique ordinaire, sous les pistons d'une machine dans laquelle la détente est de 4 fois $1/2$ le volume primitif, communique à ces pistons, dans une course entière ou demi-oscillation de la machine, une quantité de travail représentée par F , et qu'il s'agisse de calculer le travail x que produit pour la même détente un volume de vapeur de 0 m. cc. 25 sous une pression de 3 $1/2$ ou 7 $1/2$ atmosphères : on n'aura qu'à écrire la proportion

(1) Poncelet, *Mécanique industrielle*, première partie, page 175.

$$1 \text{ m. cc.} \times 1 \text{ at.} : \frac{7 \text{ at.}}{2} \times 0 \text{ m. cc.} 25 :: F : x \text{ d'où } x = \frac{7 \times 0,25}{2 \times 1 \times 1} F.$$

$$= \frac{7 \text{ at.}}{2} 0 \text{ m. cc.} 25 F = 0 \text{ m. cc.} 875 F = 0 \text{ m. cc.} 875 \times 25867 \text{ km.}$$

$$x = 22633 \text{ km.}$$

Il restera à diminuer cette valeur x , de la quantité de travail que développe en sens contraire la vapeur du condenseur, dans une course entière de celui des pistons qui est en communication directe avec le condenseur. Ce qui est facile; mais on doit encore remarquer ici, que ce produit a besoin d'être multiplié, comme nous l'avons dit au paragraphe précédent, par le nombre d'oscillations en 1 minute; et divisé par 60 secondes, pour donner le travail en 1 seconde.

Table des quantités de travail produites sous différentes détente par 1 mètre cube de vapeur d'eau prise à la tension de l'atmosphère.

Volume après la détente.	Quantité de travail correspond.	Volume après la détente.	Quantité de travail correspond.	Volume après la détente.	Quantité de travail correspond.
m. cc.	k.	m. cc.	k.	m. cc.	k.
1,25	12,835	4,25	25,277	7,25	30,794
1,50	14,518	4,50	25,867	7,50	31,144
1,75	16,111	4,75	26,426	7,75	31,483
2	17,490	5	26,955	8	31,811
2,25	18,707	5,25	27,459	8,25	32,129
2,50	19,795	5,50	27,940	8,50	32,437
2,75	20,780	5,75	28,399	8,75	32,736
3	21,679	6	28,839	9	33,027
3,25	22,506	6,25	29,261	9,25	33,310
3,50	23,271	6,50	29,665	9,50	33,585
3,75	23,984	6,75	30,055	9,75	33,854
4	24,650	7	30,431	10	34,116

Nota. Quand il n'y a pas de détente, et que le volume reste égal à 1, le travail produit par l'action directe du mètre cube = 10,333 kilom.

708. *Exemple de calcul.* Pour montrer comment on doit se servir de cette table, prenons encore les données de la machine que nous avons calculée plus haut, où la vapeur est introduite à 3 1/2 at. de pression, et doit occuper après sa détente 4 fois et 1/2 son volume primitif. La première chose à calculer est la valeur de ce volume primitif, ce qui est toujours facile quand on connaît les dimensions de la machine. Ce volume est dans l'exemple cité plus haut égal à $(0 \text{ m. } 80)^2 \times 0,785 \times 0 \text{ m. } 32 = 0 \text{ m. c. c. } 16085$. La table donne pour la même détente du mètre cube de vapeur à 1 at., la quantité de travail 25,867 kilogrammètres; donc, d'après ce qui vient d'être dit, celle qui répond à 3 atmosphères 1/2 et aux 0 m. cc. 16085 sera $3 \text{ at. } 5 \times 0 \text{ m. cc. } 16085 \times 25,867 \text{ k. m.} = 14562 \text{ km.}$

Le calcul de la force de la machine s'achèvera, comme nous l'avons dit plus haut (707).

709. *Méthode défectueuse au-delà-des détente à 6 volumes.* Il faut seulement observer que, pour les détente qui excèdent cinq fois le volume primitif, il s'en faut de beaucoup que les résultats soient aussi forts que l'indiquent les nombres du tableau. On devra supposer généralement qu'au-delà de six ou sept fois le volume primitif, la quantité de travail utile est plutôt moindre que supérieure à celle qui répond à cinq fois le volume; il est constant qu'il n'y a pas d'avantage à laisser la vapeur se détendre à plus de quatre à cinq fois son volume primitif, puisque au-delà de cette limite, la résistance et les frottements absorbent en totalité et surpassent le bénéfice donné par la détente.

710. *Méthode des mécaniciens qui donne des résultats trop forts.* La méthode suivie ordinairement par les mécaniciens donne des résultats très-erronés, et dont la conséquence est d'autant plus fâcheuse, qu'ils exagèrent beaucoup la force des machines.

En effet ils se contentent de prendre, pour la pression moyenne exercée sur le piston pendant la détente, la moitié de la somme des pressions extrêmes au commencement et à la fin de cette détente; ainsi dans l'exemple précédent ils auraient,

$$1 \text{ m. } 12 \times \frac{18174 \text{ k.} + 4038 \text{ k.}}{2} = 12439 \text{ km.}, \text{ qui surpasse}$$

de beaucoup les 8797 km. que nous avons trouvés. Ainsi il faut bien se garder d'adopter cette méthode qui induirait les manufacturiers dans des erreurs graves, sur la force de leurs machines, en les leur montrant plus fortes qu'elles ne sont réellement.

711. *Machines à deux cylindres.* Pour calculer la force des machines à deux cylindres, le procédé est exactement le même que pour calculer la force des machines à un seul cylindre et

à détente. Il est indifférent que la détente s'opère dans un cylindre autre que celui dans lequel la vapeur agit avec toute sa pression, pourvu que la partie de ce cylindre dans lequel il n'y a pas de détente, soit égale en capacité à celle du petit cylindre de Woolf, et que le volume occupé par la vapeur après la détente dans la machine à un cylindre, soit le même que le volume occupé par la vapeur après la détente dans le grand cylindre de Woolf, c'est-à-dire égal au volume de ce grand cylindre.

Ainsi le calcul d'une machine de Woolf à deux cylindres, se réduit à celui d'une machine dont le cylindre unique aurait le diamètre du petit cylindre et la capacité du grand, et où la vapeur travaillerait sans détente, sur une course de piston égale à celle du petit piston, et avec détente pendant tout le reste de la longueur du cylindre que nous employons pour ce calcul.

Supposons donc une machine dont le petit cylindre aurait de diamètre 0 m. 80 et le petit piston 0 m. 32 de course ; (on n'en construit pas dans ces dimensions, mais nous les adoptons pour rapporter notre calcul à celui qui a été fait plus haut (704) et dont le grand cylindre aurait une capacité 4 fois $1/2$ plus grande, ou de 724 décimètres cubes ou litres. Il faut calculer la longueur du petit cylindre de 0 m. 80 de diamètre qui aura 724 litres de capacité. Pour cela on calcule la section du petit cylindre $(0 \text{ m. } 80)^2 \times 0 \text{ m. } 785 = 0 \text{ m. carré } 50$. On divise alors 0 m. cube 724, par 0 m. carré 50, et on obtient 1 m. 44 environ pour la longueur du petit cylindre qui aura une capacité égale à celle du grand cylindre. On voit que 1 m. 44 est positivement la longueur que nous avons trouvée plus haut pour la course du piston qui laissait détendre la vapeur de 4 fois $1/2$ son volume primitif. Le calcul devient alors exactement le même qu'avec un seul cylindre, et l'on obtient pour la force de la machine à deux cylindres, par la méthode

abrégée, 9081 km. ; mais comme le piston est obligé de chasser devant lui la faible tension de vapeur qui existe encore dans le condenseur, et que nous ayons évaluée à 0 k. 15 de pression environ par centimètre carré, il faut calculer l'effort que cette tension exerce en sens contraire sur le grand piston pendant toute sa course. Si le grand piston a 14,000 centimètres carrés dans l'exemple cité, la pression sera $14,000 \times 0 \text{ k. } 15 = 2100 \text{ k.}$ qui, multipliés par la course du grand piston 0 m. 40, donneront 840 km. de travail ; en les retranchant des 9081 km., il restera pour la force nette 8241 km.

712. *Effet utile des machines à vapeur.* Mais lorsque l'on calcule ainsi la puissance théorique d'une machine à vapeur, l'on ne tient compte ni des pertes de vapeur par les pistons, derrière lesquels est souvent le vide, ni des frottements de toutes les pièces de la machine, et surtout celui des pistons contre les cylindres, qui est considérable, ni de la force nécessaire pour monter l'eau destinée à la condensation, etc. ; en un mot, on ne tient pas compte de toute la force dépensée inutilement en frottements de toute espèce, et qui n'entre pour rien dans l'effet utile des machines.

Or, pour connaître exactement leur puissance, il faut calculer ces pertes de force, et les retrancher du travail total de la vapeur. Le reste sera évidemment l'effet utile ou le produit net de la machine.

L'expérience et l'examen suivi des machines, réunis au calcul de ces frottements, nous apprennent que l'effet utile des principaux systèmes de machines à vapeur, est au travail total de la vapeur à peu près dans les rapports donnés au tableau suivant : c'est-à-dire qu'une machine de 4 à 8 chevaux à basse pression, en bon état, par exemple, rend 50 0/0 d'effet utile, et perd, par conséquent, moitié de sa force en frottements, etc.

Effet utile des diverses machines à vapeur.

	Machines à basses pressions.		Machines à haute et moyenne pression.	
	en bon état.	en état ordinaire.	en bon état.	en état ordinaire.
Pour les machines de 4 à 8 chev.	0,50	0,42	0,55	0,51
— — 10 à 20 —	0,56	0,47	0,42	0,33
— — 30 à 50 —	0,60	0,54	0,50	0,42
— — 60 à 100 —	0,65	0,60	0,60	0,53

713. *Applications.* Ainsi, pour avoir l'effet utile de la machine à basse pression dont nous avons parlé (700), il faudra multiplier le travail de la vapeur que nous avons trouvé égal à 516 km. par 0,50, parce que la machine est faible, et l'on trouvera qu'il est égal à 258 km.

Pour la machine à moyenne pression, on aura $8241 \times 0,60 = 4945$ km.

Ces nombres ne représentent pas l'effet utile des machines à vapeur d'une manière parfaitement exacte, parce que cet effet utile varie avec la construction et la conduite des machines. Mais ils serviront pour constater à peu de chose près la force des machines que l'on emploie, et cette approximation est suffisante dans le service journalier des ateliers.

714. *Expression commune de la force des machines. Force en chevaux - vapeur.* Nous avons évalué la force de toutes les machines en une mesure constante de 1 kilogramme élevé à 1 mètre ou 1 kilogrammètre. C'est en effet une mesure rigoureuse, à laquelle on rapporte facilement tous les autres genres de travail. Mais il faut encore parler ici de la mesure généralement adoptée dans le calcul de la force des machines à vapeur. Cette force était originairement égale à celle d'un fort cheval attelé au manège, et donnant pendant quelques instants

un coup de collier. Aussi elle représente un travail qu'un cheval ne soutiendrait pas deux heures de suite.

Les divers mécaniciens donnent des évaluations différentes de cette force de cheval vapeur ; ils varient depuis 60 kil. jusqu'à 80 kil. ou 90 kil. élevés à 1 mètre en une seconde.

Quoi qu'il en soit, par suite du besoin que l'on a de s'arrêter à une base fixe, et de partir du même point, on a adopté généralement le nombre 75 kilog. pour la valeur du cheval vapeur qui sert d'unité routinière dans le calcul de la force des machines à vapeur, des roues hydrauliques et des divers moteurs.

Ainsi un moteur dont l'effet utile sera égal à 750 km. aura la force de $\frac{750}{75}$ ou 10 chevaux vapeur.

La machine à moyenne pression dont nous avons parlé, qui a une force de 4965 km. a $\frac{4965}{75} = 65$ chevaux environ, etc. En divisant l'effet utile évalué en kilogrammes élevés à un mètre, par le nombre 75 km., le quotient sera toujours le nombre de chevaux vapeur, qui représentera la force du moteur.

715. *Du frein dynamométrique de Prony.* Il nous reste à parler maintenant du procédé que l'on emploie pour mesurer directement l'effet utile des divers moteurs. Nous le décrivons sans entrer dans aucun détail sur les principes qui en sont la base. Ce procédé s'applique avec autant de succès à tous les moteurs, roues hydrauliques, etc.

Supposons-le appliqué à une machine à vapeur de douze chevaux. On arme l'arbre du volant, dans un endroit réservé pour cette opération, d'une enveloppe cylindrique en bois de 0 m. 32 à 0 m. 40 de largeur, et de 0 m. 50 à 0 m. 60 de diamètre, solidement frettée à chaud. S'il s'agissait de mesurer la force d'une roue à eau montée sur arbre de bois, celui-ci serait très-convenable à l'opération sans y mettre d'armature. On ne peut éviter d'en ajouter une sur l'arbre de fonte d'une machine à vapeur, quand même il serait cylindrique et tourné,

parce que son diamètre est si petit que, pour obtenir un frottement capable d'enlever le levier et le poids que l'on y applique, il faudrait un effort de serrage énorme, auquel les boulons du collier ne sauraient résister. On sentira mieux l'importance de cette observation après avoir lu la description de ce procédé (*pl. 10, fig. 7*).

Quand l'arbre *a* est ainsi couvert d'un cylindre de bois ou de fonte, on y ajuste un levier *b* fait avec une longue pièce de chêne, ou mieux de sapin de 0 m. 19 à 0 m. 22 d'équarrissage et de 3 à 4 m. de longueur ; ce levier est fixé sur l'arbre par un collier en fer forgé *cc* dont les deux bouts sont terminés en boulons, et serrés sur le levier par deux forts écrous *dd*, et des rondelles de fer destinées à empêcher les écrous de s'imprimer dans le bois.

A l'autre extrémité du levier, on attache par un bout du crochet *i* un poids *f* ou un plateau de balance destiné à recevoir des poids.

Une cordelle légère empêche le levier de s'enlever dans le cas où l'on serrerait trop fortement les écrous *dd*, et un petit tréteau l'empêchera de retomber si l'on venait à leur donner trop de jeu. On ne laisse ainsi au levier que peu de course libre, pour le maintenir toujours à peu près horizontal, et ne pas s'exposer à renverser par des secousses les poids placés sur le plateau de balance. Le levier est armé à l'endroit du collier d'un coussinet en bois *e*, qui embrasse l'arbre sur une largeur de 0 m. 40 environ, et pour que le frottement de ces deux surfaces l'une sur l'autre ne l'enflamme pas, on les arrose d'eau froide pendant toute la durée de l'expérience.

716. Tout l'appareil étant ainsi disposé, on calcule d'avance le poids dont il faut charger le plateau de balance pour obtenir les douze chevaux de force au moment où, la machine étant à sa vitesse de règle de 27 coups par minute, le levier se maintiendra en équilibre et horizontal. Pour cela,

nous dirons d'abord que l'effet utile de la machine, essayée, est égal au poids suspendu en i , multipliant la vitesse par seconde qu'aurait le point i , si le levier b était fixé invariablement sur l'arbre de la machine, et tournait avec lui.

Donc si le poids est égal à 80 k., et que le rayon du levier soit de 4 m., la circonférence décrite par le point i en tournant avec l'arbre, ou la circonférence dont ie est le rayon, sera égale au double de $ie = 8$ m., multipliant $3,1416 = 25$ m. Comme la machine fait faire à l'arbre vingt-sept révolutions en une minute, le point i parcourra en une minute 27×25 m. ou 675 m. et en 1 seconde $\frac{675}{60} = 11$ m. 20. Si le poids est de 80 k., il est évident que l'effet utile de la machine sera égal à 80 k. $\times$ l'espace parcouru en une seconde 11 m. 20 = environ 900 km. Divisant 900 par 75, on a douze chevaux vapeur pour la force de la machine.

On fera attention que dans les 80 k. qui forment le poids d'épreuve suspendu au bout du levier, à 4 m. du centre de l'arbre a , sont compris 1° le poids du plateau de balance; 2° le poids du levier au point i , c'est-à-dire le poids mesuré avec un peson ou un dynamomètre, qui soutiendrait en i le levier quand il est posé sur une pièce de bois étroite en e à l'endroit qui doit porter sur l'arbre. En un mot, le poids de 80 k. représente tout le poids qu'enlève le frottement donné par le serrage des écrous.

717. Pour régler d'avance ce poids, afin qu'il soit équivalent à la force de la machine, on fait de nouveau, en commençant par la fin, le calcul que nous venons de faire plus haut. Les 12 chevaux à 75 km. par cheval donnent 900 km. La vitesse du point de suspension i sera comme nous l'avons calculée de 11 m. 20 par seconde. Divisant 900 km. par 11 m. 20, on trouve 80 k. pour le poids total à mettre en i ; on pèse alors le bout du levier, et le plateau de balance, s'il y en a un, et les supposant tous deux ensemble égaux à 40 k., il s'ensuit qu'il

faudra seulement ajouter 40 k. pour compléter le poids de 80 k.

On place donc 40 k. sur le plateau de balance, on met la machine à vapeur en mouvement à sa vitesse de régime. On serre alors les écrous jusqu'au moment où le frottement devient assez considérable pour que le levier soit enlevé, et soutenu en équilibre. A mesure que le frottement augmente, la machine se ralentit; il faut ouvrir un peu plus le robinet régulateur pour la maintenir à sa vitesse de 27 coups par minute. D'un autre côté, on règle le serrage des écrous, de manière que le levier ne s'enlève pas par un serrage trop fort, et ne retombe pas quand l'écrou n'est pas assez serré. Un ouvrier, avec une longue clé, parvient assez facilement à régler la marche de ce levier. Quand il est ainsi tenu en équilibre, c'est-à-dire que le frottement du collier sur l'arbre fait équilibre à la charge du levier, que nous avons vue égale à toute la charge de la machine à vapeur, et que celle-ci atteint sa vitesse de régime, on peut être certain qu'elle développe une quantité de travail réel égale à douze chevaux vapeur, avec la pression et l'ouverture de robinet sous lesquelles elle travaille pendant l'essai, ou si c'est une roue hydraulique, avec la chute et l'ouverture de vanne prises au moment de l'expérience.

- 718. *Du frein portatif et du dynamomètre de Morin.* Depuis quelques années on a fait un usage assez actif du frein de Prony; quelques modifications plus ou moins heureuses y ont été apportées. Nous donnons (*pl. 10, fig. 7*) le tracé du frein portatif de Morin, qui nous a paru très-simple. Cet officier, dans de très-beaux travaux, a trouvé des instruments qui, non seulement, mesurent la quantité de travail faite par le moteur, ou transmis par l'axe d'une machine, mais encore l'inscrivent sur une feuille de papier avec toutes ses variations successives; notre plan tout pratique, ne nous permet pas d'entrer dans de semblables détails.

Il est à désirer que l'emploi de ce procédé, qui présente encore quelques difficultés, et demande quelques soins pour être utilisé avec succès, se répande dans tous les ateliers, c'est jusqu'ici le seul moyen sûr et régulier de mesurer la force des moteurs.

OBSERVATIONS SUR LES ORDONNANCES ET INSTRUCTIONS RELATIVES AUX MACHINES A VAPEUR.

719. *Intérêt de la question.* La question qui nous occupe ici, traitée avec soin et détails, ne manquerait ni d'importance ni d'intérêt; mais comme elle se rattache très indirectement à notre sujet, nous ne dirons que ce qui peut être spécialement utile aux propriétaires de machines à vapeur, et appeler leur attention sur le danger des mesures administratives, qui sont trop souvent provoquées par ceux-là mêmes auxquels elles nuisent le plus, parce qu'ils en ignorent et les principes et les conséquences.

Tous les jours, en effet, les citoyens appellent l'administration à intervenir dans des questions qui ne sont nullement de son ressort, qu'elle est incapable de juger, faute d'en connaître la nature, et de pouvoir en apprécier toutes les circonstances, et où elle porte des idées fausses, de fausses mesures et de fâcheux résultats, quand elle y applique la pensée qui la guide toujours, celle d'organiser, de diriger, de régler, d'administrer tout à la fois, d'être, en un mot, la grande providence de l'industrie comme celle de toute la nation.

720. *Inconvénient du mode adopté.* Les machines à vapeur, et par conséquent les ateliers qui les emploient, n'ont pas échappé longtemps à cette influence soi-disant protectrice. Dès que l'administration les a vus prendre un essor libre et se

développer à travers quelques accidents inévitables, frappée seulement de ces accidents qui se sont multipliés nécessairement, à mesure que se multipliaient les machines à vapeur, elle a plié aussi cette industrie sous une ordonnance qui doit en écarter tous les dangers, et où le défaut de connaissance du sujet a semé de graves erreurs de détails, outre qu'elle est elle-même une erreur de principe.

La surveillance à exercer sur les machines à vapeur, surveillance à laquelle il y a tant d'intérêts et de facilités à se soustraire, exigeait nécessairement l'introduction libre des agents du gouvernement dans les manufactures; quoique défendue par la loi, on l'a ordonnée, parce qu'on a senti que l'ordonnance était nulle si cette surveillance n'était pas fréquente, continue et très-active. Bien qu'une partie des industries qui emploient la vapeur, n'aient rien à craindre de ces visites, il en est beaucoup où l'inspection d'un étranger, qui peut entrer chaque jour, et sans autorisation, dans l'établissement, est une servitude dangereuse; car, dans les fabriques de draps et de toiles peintes, par exemple, dans les blanchisseries, dans les papeteries, les fabriques d'acide sulfurique même, etc., il est une foule de détails pratiques que l'on tient avec raison à ne pas exposer à tous les yeux; enfin il n'est pas un atelier où l'on ne voie d'un mauvais œil une surveillance étrangère, et où l'on n'y trouve des inconvénients sérieux; en un mot, un atelier ne peut pas être ainsi ouvert à une inspection quelle qu'elle soit, et une loi seule pourrait l'ordonner. On ne dira pas que cette surveillance est rare, et que les visites doivent être annoncées, car, quoique la dernière ordonnance en particulier, qui généralise la mesure pour toutes les chaudières à vapeur, ne parle pas d'inspection régulière, il n'en est pas moins vrai qu'en défendant de dépasser dans chaque chaudière un certain degré de pression, elle admet nécessairement un moyen de s'assurer si

cette défense n'est pas violée; et ce moyen est l'inspection.

Sans doute les inspecteurs chargés de cette surveillance y mettent beaucoup de discrétion et de réserve; mais alors le but de l'ordonnance n'est pas atteint et la surveillance n'est pas efficace. C'est là une des difficultés les plus graves, une des impossibilités de la plupart des mesures de ce genre. Inconvénients et dangers si elles sont exécutées, inutilité si elles ne le sont pas; nous dirons plus, impuissance même quand elles le sont. C'est ce que l'on sentira mieux tout à l'heure.

721. *But à peu près impossible à atteindre directement.* Le but de l'ordonnance, en effet, est de prévenir les explosions. Or ici se présentent deux observations.

Les explosions paraissent dues à trois causes principales (302):

1° L'excès de tension de la vapeur dans la chaudière, qui devient incapable de résister à ce grand effort et se brise.

2° Le défaut d'alimentation de la chaudière, par suite duquel le niveau de l'eau baisse alors: quelques unes des parties rougissent, et lorsqu'un bouillonnement subit, ou le rétablissement de l'alimentation, jettent tout à coup de l'eau sur cette fonte chauffée au rouge, la masse de vapeur qui se développe à la fois, ne peut pas s'échapper par les tuyaux ordinaires, et il s'ensuit une explosion.

3° Le soulèvement subit des dépôts attachés au fond de la chaudière.

C'est ce qui résulte de tous les faits connus.

Or, de ces trois causes d'explosion, la dernière est à peu près hors du domaine de l'ordonnance: car, à moins que la partie de la chaudière qui vient à rougir ne se trouve au-dessous de l'une des rondelles fusibles, et n'ouvre ainsi tout à coup une issue à la vapeur, les mesures prescrites ne peuvent prévenir l'accident. Il pourrait arriver encore qu'au moment où la rondelle fondue ouvre le passage, il se produisit tout à

coup un large développement de vapeur, qui ferait bouillonner l'eau jusque sur la partie rougie de la chaudière, et occasionnerait encore une explosion.

Ainsi, sous ce rapport, les mesures de sûreté prescrites n'ont aucune utilité, excepté les rondelles fusibles, qui ne doivent pas cependant donner une sécurité entière : et, sous le rapport de la haute pression qui se développe quelquefois, il n'y a pas lieu de douter aujourd'hui que l'essai à la presse hydraulique, qui n'est pas concluant, puisqu'il se fait à froid, ne fatigue les chaudières en les mettant à une épreuve trop forte; en outre, la défense de porter la vapeur à une pression supérieure à celle pour laquelle la chaudière est timbrée, est complètement inexécutable; car, bien qu'une machine doive toujours travailler à une pression réglée, il n'en est pas moins vrai que, lorsqu'elle devient plus lourde, soit à cause de l'air qu'elle prend, soit par toute autre raison, il faut nécessairement pousser la vapeur à un degré plus haut, au moins jusqu'au moment où l'on pourra réparer la machine sans entraver le travail des ateliers.

722. *Causes inévitables de hausse dans la pression.* Mais c'est surtout lorsque l'on est obligé d'arrêter subitement la machine au milieu de son travail, pour une réparation légère, comme le nettoyage des soupapes de la pompe alimentaire, que la vapeur monte tout à coup à une tension très-grande, si le chauffeur n'a pas la précaution de reculer le poids des soupapes de sûreté, pour laisser la tension se régler, et tout l'excédant de vapeur s'échapper au dehors (310). Cet effet est inévitable, si, comme on le voit souvent, le nettoyage ou la réparation, que l'on avait cru terminer en quelques minutes, dure une demi-heure, sans parler des autres cas qui se peuvent présenter. Cette circonstance suffit pour que la pression de la vapeur monte tout à coup très-haut. Observons que les rondelles fusibles, qui du reste préviennent parfaitement tout

excès de pression, présentent cet inconvénient, qu'en arrêtant ainsi un moment, la vapeur prend quelquefois deux et trois atmosphères de pression de plus, la rondelle fond, parce qu'elle est réglée pour fondre à un excès de température de 10° correspondant dans cette limite à une atmosphère. Or c'est un inconvénient si grave d'être exposé à voir fondre la rondelle, toute la vapeur se perdre dès que l'on arrête un moment, et à se trouver entravé pour quelques heures, que l'on a, dans beaucoup d'endroits, placé une feuille de tôle sous la rondelle fusible, afin d'éviter les pertes de temps qui en sont la suite, et que l'on a ainsi détruit tout son effet (312).

723. *Soupapes.* D'un autre côté, les mesures prescrites pour les soupapes sont illusoires. A quoi bon renfermer une des soupapes sous une grille? Pour empêcher le chauffeur de les surcharger. Mais qui l'empêchera de les fixer invariablement avec un bâton ou un barreau de fer, qu'il passera à travers le grillage de la boîte : et d'ailleurs, en l'enfermant ainsi, il ne pourra pas la décharger en partie, afin d'éviter toute augmentation de pression quand il arrête la machine un instant ; cette mesure est donc inutile et dangereuse, et il n'est pas un manufacturier qui tienne cette grille fermée.

L'ordonnance du 29 mai 1820 est aussi peu conséquente, et peut-être plus contraire encore à toute connaissance raisonnée des machines, que les premières. Nous reconnaissons, il est vrai, qu'il y a autant de danger d'explosion avec les chaudières à basse pression, qu'avec les chaudières à moyenne et à haute pression ; mais les limites que l'on a fixées à la tension de vapeur permise dans chaque cas, sont beaucoup trop resserrées, et l'on peut affirmer d'avance qu'elles ne seront jamais complètement exécutées. Les soupapes doivent être réglées exactement pour la tension à laquelle travaille la machine ; or, une soupape ainsi réglée laissera toujours

échapper de la vapeur. Il faut nécessairement une charge plus forte que celle à laquelle elles doivent se soulever. Ainsi une soupape réglée pour se soulever à 5 atmosphères laissera toujours échapper la vapeur à 4 atmosphères, si elle est bien netoyée et bien rodée, et à trois atmosphères si elle n'est pas bien tenue. Cette condition est donc inexécutable (310).

724. *Rondelles.* Il en est de même du degré de fusibilité de la rondelle fusible, qui ne laisse ici aucune marge, puisque, pour des machines travaillant avec de la vapeur à 2 atmosphères ou à 122°, elles doivent être fusibles à 127°. Il faudrait au moins 15° de marge.

725. *Manomètre.* Le manomètre coupé à la hauteur de règle de 2 atmosphères, perdra constamment son mercure, et laissera à tout moment échapper de la vapeur; il y faut aussi de la marge. L'examen de la détérioration des machines est à peu près impraticable; la brûlure seule des bouilleurs de tôle ou de cuivre se peut découvrir, quand elle n'est pas instantanée; ce qui a presque toujours lieu. Relativement aux essais prescrits, ils peuvent fatiguer les chaudières, et y déterminer des accidents qui ne se développeront que plus tard, parce que la pression de 15 atmosphères est énorme, et ne s'obtient jamais avec la vapeur: de plus ils ont le grand défaut d'occasionner des frais inutiles, de forcer le constructeur à donner aux bouilleurs et aux chaudières plus d'épaisseur, pour assurer leur garantie lors de l'essai, tandis que cet excès d'épaisseur, loin d'être utile au travail de la chaudière, lui nuit beaucoup, rend le chauffage plus difficile et plus lent, et expose les bouilleurs à se déchirer plus souvent que s'ils étaient plus minces. En même temps ces essais prennent beaucoup de temps, et occasionnent des retards qui pourraient être souvent fâcheux pour un manufacturier, dont les ateliers seraient tout à coup arrêtés par la fracture subite de ses deux bouilleurs.

Ainsi toutes les raisons se réunissent pour rendre les mesures prescrites par les ordonnances aussi gênantes qu'il-lusoires. Les rondelles fusibles seules peuvent prévenir une partie des accidents ; mais on n'a pas donné à beaucoup près assez de marge à la tension de la vapeur. Quant à toutes les autres conditions imposées, il n'y en a pas une qui soit juste et raisonnable, toutes sont inutiles.

726. *Placement des chaudières au milieu des forges.* Les conditions imposées pour placer les générateurs hors de portée des ateliers, nous paraissent plus nettes et plus rationnelles : et cependant, dès aujourd'hui, l'industrie a apporté des faits nouveaux, qui mettent la législation en opposition avec ses besoins, et avec ses plus beaux perfectionnements. Nous avons montré (251) quels résultats économiques on peut obtenir, en utilisant la chaleur emportée et perdue par la fumée dans les travaux manufacturiers ; et, nous l'avons dit, pour obtenir ces résultats, la première condition est de placer les appareils que l'on emploie, le plus près possible des fourneaux ; s'il s'agit de chauffer un séchoir avec la chaleur que développent les parois d'un fourneau à vapeur, ou des ateliers avec la fumée de ce fourneau, il faut qu'il soit autant que possible au-dessous des ateliers. Disons plus, s'il s'agit de chauffer avec les flammes perdues des fours, des générateurs destinés à conduire, dans une forge, une machine à vapeur, alors il faut nécessairement placer les générateurs immédiatement à la suite, ou au-dessus des fours, c'est-à-dire contre toutes les conditions imposées par les ordonnances ; *au milieu des ateliers et sans être entourées d'un mur de 1 mètre d'épaisseur.*

En effet, la seule place des fours pour le travail du fer, est au milieu de la forge, le plus près possible des cylindres qu'ils alimentent, et il faut que ces fours soient libres de tous côtés ;

ce qui supprime inévitablement toute enceinte pour le générateur.

727. *L'ordonnance qui le défend est inexécutable et inexécutée.* Défendra-t-on à un maître de forge d'employer cette chaleur perdue, qui avec une machine de 60 chevaux représente pour lui au minimum 4500 k. de houille, et avec la houille à 3 fr. 0/0, 135 fr. d'argent par jour, ou près de 50,000 fr. par an; *cela serait absurde et impossible.* Aussi, depuis quelques années, plusieurs machines à vapeur à haute pression se sont montées avec des générateurs ainsi placés sur les fours : la question a été posée forcément par la pratique, et les ingénieurs éclairés qui sont chargés d'exécuter les ordonnances relatives aux machines à vapeur, reconnaissant la nécessité de modifications à y apporter, se sont abstenus, et ont laissé les machines se monter et fonctionner. La loi n'est donc plus exécutée, et est aujourd'hui inexécutable sous ce rapport.

On ne peut pas non plus imposer aux maîtres de forges l'emploi des machines à basse pression ; d'abord parce que les chances d'explosion sont les mêmes qu'avec celles à haute pression : ensuite parce qu'avec la basse pression, la vapeur donnée par les fours, consommée en quantité beaucoup plus grande, ne suffit plus au travail du fer chauffé dans les fours ; tandis qu'à moyenne ou haute pression, elle suffit largement.

728. *Pénalité sévère à établir, et responsabilité des propriétaires.* La question de sûreté des machines à vapeur est tout entière dans les soins qu'on leur donne, et la surveillance qu'on y exerce. C'est là seulement qu'on trouvera le moyen de prévenir les accidents. Que les manufacturiers ne confient leurs machines qu'à des ouvriers intelligents, instruits, soigneux, et qu'ils les paient assez pour pouvoir exiger ces qualités ; qu'ils les intéressent à la bonne marche de la machine, en faisant reposer de manière ou d'autre sur cette condition

une partie de leur traitement ; ou qu'au moins ils exercent la surveillance la plus active, qu'ils ne souffrent ni le feu couvert la nuit, quand on arrête, ni les soupapes sales et surchargées, ni les chaudières et bouilleurs trop encrassés, ni le mauvais état de la pompe alimentaire ; qu'ils ne laissent pas leurs chauffeurs s'en rapporter à des outils trop faciles à déranger pour régler cette alimentation et la marche du registre de la cheminée, etc., ni une trop haute et inutile pression de la vapeur ; ils se mettront ainsi à l'abri des accidents qui ne sont aucunement prévenus par les ordonnances.

En même temps il n'y a qu'un moyen de développer cette surveillance chez les manufacturiers : c'est de faire là, comme on fait dans toute autre question ; de punir celui qui a manqué, d'autant plus sérieusement, que la négligence et les accidents qui en sont résultés ont été plus graves. Ce délit est du même genre que tout autre délit. Il ne faut pas punir d'avance, ni réglementer pour l'empêcher. Il faut frapper celui qui le commet. Pourquoi à la suite d'une explosion ne ferait-on pas une enquête, pour savoir quelle en est la cause, et sur qui on doit faire tomber la responsabilité ? Pourquoi ne voudrait-on pas rendre le manufacturier responsable en cela des fautes de son chauffeur ? Pourquoi l'enquête ne constaterait-elle pas le degré de négligence apporté dans la surveillance ou la conduite de la machine ? Et pourquoi, s'il est prouvé que le propriétaire a négligé les précautions et soins nécessaires, forcé la marche de sa machine et surchargé les soupapes pour en tirer un trop grand parti, etc., pourquoi une forte indemnité au profit de ceux qui ont souffert de l'explosion, et une peine personnelle au besoin, ne le puniraient-elles pas de sa coupable négligence ? Enfin, pourquoi ne donnerait-on pas comme punition une grande publicité à cette négligence et à ses désastreux résultats.

Dans cette route on trouverait toutes les garanties de sécu-

rité que l'on peut désirer, puisque l'on provoquerait, par l'intérêt personnel, la surveillance journalière, constante et éclairée du propriétaire; tandis qu'aujourd'hui, après avoir satisfait à quelques vaines formalités, et quelques inutiles conditions, il serait en sûreté et garanti contre tout accident et toute poursuite, et il négligerait une surveillance indispensable. Le soin des machines est donc en définitive alors confié à des inspecteurs étrangers, à qui l'entrée des ateliers pourrait être légalement refusée.

Toute autre marche est fautive et inefficace. Celle-ci seule est directe, active, utile et juste. Elle atteint parfaitement le but sans difficulté, sans aucun frais et sans perte de temps. Et c'est à elle qu'il faudra tôt ou tard revenir.

L'instruction destinée à être affichée dans la chambre des machines à vapeur donne également lieu à quelques observations, que nous y ajouterons sous formes de notes. Nous croyons utile de l'insérer dans cet ouvrage, quoique incomplète: on la trouvera dans l'appendice à la fin de ce volume.

CINQUIÈME PARTIE.

APPENDICE.

THÉORIE ÉLÉMENTAIRE DES VAPEURS.

Nous avons promis de compléter les notions sur les machines à vapeur, que nous offrons aux manufacturiers, par un court exposé de la théorie des vapeurs, et des lois auxquelles elles sont soumises : il devient nécessaire aujourd'hui de connaître parfaitement les outils que l'on emploie, et de se rendre un compte exact de leur action. Les chauffeurs y puiseront aussi une connaissance plus complète de la vapeur qu'ils mettent en œuvre chaque jour, et ils concevront plus facilement la marche régulière et en même temps les diverses maladies des machines qu'ils conduisent.

Nous n'avons pas cru pouvoir mieux faire, que d'adopter la notice succincte mise par M. Péclet en tête de l'histoire descriptive de la machine à vapeur par Stuart. Nous n'aurions pu espérer de mieux resserrer, dans un cadre aussi étroit, tous les principes de la théorie des vapeurs.

« Nous n'avons pas le projet de donner ici une théorie complète des vapeurs ; notre but est seulement d'en tracer les principales propriétés ; de manière à rendre intelligible pour tous les lecteurs l'histoire des machines à vapeur. Ainsi nous nous bornerons le plus souvent à énoncer le résultat des observations faites, sans décrire la manière de les faire : ce ne serait qu'autant que le mode d'observation n'exigerait que peu de détails que nous nous permettrions de les développer.

Nous examinerons successivement la formation des vapeurs en général, dans le vide, dans les gaz, l'absorption de chaleur produite par la vaporisation, et le retour des vapeurs à l'état liquide.

Formation des vapeurs.

Lorsque des liquides se trouvent exposés à l'air, ou dans un espace vide, qu'ils sont soumis à l'action d'un foyer de chaleur, ou abandonnés à la température ordinaire, ils se dissipent sous la forme de gaz invisibles, qu'on a désignés sous le nom de vapeurs.

Les vapeurs d'un même liquide qui se forment dans ces diverses circonstances ne diffèrent que par leurs forces élastiques. Ainsi les vapeurs qui se produisent lentement par les dessiccations des matières humides sont de même nature que celles qui se dégagent tumultueusement pendant l'ébullition. Cependant, dans le premier cas, les vapeurs sont invisibles; et dans le second, elles apparaissent sous la forme de brouillard. Mais cette différence d'aspect n'existe pas réellement à l'instant de leur émission, car les vapeurs formées par l'action de la chaleur ne deviennent visibles que parce qu'elles se condensent, du moins en partie, par leur contact avec l'air froid.

Formation des vapeurs dans un espace vide.

Prenez un tube de 0 m. 80 à 1 m. 20 de hauteur, fermé par une extrémité et ouvert par l'autre; remplissons ce tube de mercure, et après l'avoir fermé avec le doigt, renversons-le dans une cuvette pleine du même métal; ce sera un véritable baromètre, et le mercure se maintiendra dans le tube à une hauteur d'environ 0 m. 76 au-dessus du niveau du mercure dans la cuvette; la portion de la capacité du tube située au-dessus du mercure, qu'on nomme chambre du baromètre, sera complètement vide. Si après cela on introduit une certaine quantité de liquide, au-dessous du tube, il montera à travers le mercure et arrivera bientôt dans la chambre barométrique.

On observera alors : 1° qu'à l'instant précis où le liquide arrive au-dessus du mercure, ce métal descend d'une certaine quantité, constante pour le même liquide et la même température, quelle que soit d'ailleurs l'étendue de la chambre barométrique et la quantité du liquide introduit, pourvu que cette quantité soit en excès; 2° qu'en enfonçant le tube dans la cuvette, ce qui tend à diminuer l'étendue de la chambre, et par conséquent à comprimer la vapeur qui s'est formée, une partie de celle-ci se condense, et l'abaissement du mercure reste constant; 3° que, si on relève le baromètre, opération qui augmente l'étendue de la chambre barométrique, et qui par conséquent tend à dilater la vapeur, la dépression du mercure reste encore la même; 4° que, si on n'avait pas introduit un excès de liquide à mesure que l'on augmentait l'étendue de l'espace dans lequel la vapeur s'est formée, elle se dilaterait comme un gaz,

et l'abaissement du mercure serait en raison inverse du volume, ou proportionnel à la densité de la vapeur.

Il résulte de ces observations, qu'un liquide en contact avec un espace vide, émet instantanément toute la vapeur qui peut se former ; que la quantité de cette vapeur est proportionnelle à l'étendue de l'espace vide ; que sa force élastique est indépendante de la plus ou moins grande étendue de l'espace dans lequel elle se développe, que la vapeur sur un excès de liquide n'augmente ni ne diminue de force élastique par la diminution ou l'augmentation de l'espace qu'elle occupe ; dans le premier cas, une partie de la vapeur retourne à l'état liquide ; dans le second, le liquide en excès fournit de nouvelles vapeurs.

Mais, si l'espace vide n'est point saturé, n'est point par conséquent en présence d'un excès de liquide, à mesure qu'on augmentera cet espace, la vapeur se dilatera, sa force élastique suivra la loi de sa densité. Si au contraire on diminue cet espace, la vapeur se comprime et augmente de densité et de force élastique ; mais cet effet n'a pas lieu indéfiniment, car, lorsque la vapeur a acquis la densité et par conséquent la tension de celle qui se serait formée sur un excès de liquide, ou, en d'autres termes, lorsque l'espace est saturé, une plus grande compression forcerait une partie de la vapeur à se liquéfier, et la pression resterait constante. En résumé, les vapeurs dans le vide sur un excès de liquide ne peuvent ni se comprimer ni se dilater ; les vapeurs non saturées peuvent se dilater indéfiniment, mais ne peuvent se comprimer que jusqu'à la saturation de l'espace ; ces dilatations et ces condensations suivent les mêmes lois que celles des gaz, c'est - à - dire que les pressions correspondantes sont en raison inverse du volume occupé par la vapeur.

Examinons maintenant quelle est l'influence de la température sur l'émission des vapeurs dans le vide. Pour cela, on peut encore se servir de l'appareil que nous avons décrit, en enveloppant le baromètre d'un tube de verre que l'on remplirait d'eau à différentes températures. On a reconnu ainsi que les vapeurs se dilataient, et que leur force élastique croissait avec la température, et de la même manière que pour les gaz, lorsqu'il n'y avait pas un excès de liquide. Or, d'après les belles expériences de M. Gay-Lussac, la dilatation d'un gaz est de 0,00375 de son volume à la température de zéro pour chaque degré du thermomètre centigrade : par conséquent cette loi est exactement applicable aux vapeurs non saturées. Mais si la vapeur se trouve en contact avec un excès de liquide, la force élastique croît avec une bien plus grande rapidité ; par exemple, la force élastique de la vapeur d'eau, dans cette circonstance, croît de zéro à 100° dans le rapport de 1 à 60, tandis que dans les mêmes limites, la vapeur non saturée n'augmenterait de tension, comme nous venons de le dire, que dans le rapport de 1 à 1,375.

Dalton, savant physicien de Manchester, à qui on doit tout ce que nous venons

de dire sur les vapeurs, a reconnu que la force élastique de la vapeur saturée à une température parfaitement égale à celle de l'ébullition du liquide dans l'air, abaissait le mercure du baromètre au niveau du mercure dans la cuvette, ce qui indique qu'à cette température la tension de la vapeur est égale à celle de l'atmosphère. D'après cela, nous pouvons définir l'ébullition, la température à laquelle la force élastique de la vapeur fait équilibre à la pression atmosphérique.

Le même physicien a cherché suivant quelle loi les forces élastiques des vapeurs saturées croissaient avec la température. En faisant varier cette température jusqu'à celle où la force élastique des vapeurs était égale au poids de l'atmosphère, il a trouvé cette loi remarquable : tous les liquides forment des vapeurs qui ont la même force élastique à des températures également éloignées de celle de leur ébullition. Par exemple, l'eau bout à 100° , l'alcool à 78° . A ces températures, les forces élastiques de leurs vapeurs sont égales entre elles et à la pression atmosphérique, comme nous avons vu plus haut ; et en vertu de la loi de Dalton, la force élastique de la vapeur d'eau à 90° est égale à celle de l'alcool à 68° , etc. On voit d'après cela que la force élastique des vapeurs émises par différents liquides à la température ordinaire est d'autant plus faible que ces liquides entrent en ébullition à une température plus élevée. Ainsi le mercure, qui bout à 400° , donne à zéro des vapeurs dont la tension est égale à celle de la vapeur d'eau à 300° au-dessus de zéro.

Il résulte de la loi que nous venons d'énoncer que, pour connaître les forces élastiques des vapeurs formées par les liquides, il suffit d'avoir : 1^o une table qui donne les forces élastiques des vapeurs fournies par un seul liquide pour chaque degré du thermomètre ; 2^o une table qui fasse connaître la température à laquelle les autres liquides entrent en ébullition.

Nous devons cependant dire que la loi de Dalton n'est pas rigoureusement exacte : des expériences récentes, faites par plusieurs habiles physiciens, ne laissent aucun doute à cet égard ; mais on peut la regarder comme une approximation presque toujours suffisante.

Formation des vapeurs dans les gaz.

Pour observer les mélanges des vapeurs dans les gaz, on se sert d'un grand ballon de verre dans lequel se trouve un baromètre, un tuyau à robinet pour y faire le vide et introduire le gaz sur lequel on veut opérer, et un petit entonnoir, garni d'un robinet, dont la clé renferme une petite cavité destinée à introduire dans le ballon le liquide qui doit fournir les vapeurs, sans cependant faire communiquer sa capacité intérieure avec l'air. Cet appareil porte le nom de manomètre ; on le place dans un bain à la température convenable.

Dalton a reconnu par ce procédé : 1° que les vapeurs qui se développent dans les gaz ne satureront pas instantanément l'espace occupé par le gaz, car il s'écoule un certain temps entre l'instant où le liquide est introduit et celui où le baromètre, devenant stationnaire, indique qu'il ne se forme plus de vapeurs ; 2° que la force élastique d'un mélange de gaz et de vapeurs est égale à la force élastique du gaz, plus celle de la vapeur qui se développerait dans le vide à la même température ; 3° que la quantité de vapeur qui se forme dans un gaz est égale à celle qui se formerait dans un espace vide à la même température.

Il en résulte que les vapeurs se développent dans le gaz comme dans le vide, seulement les gaz opposent à la vaporisation un obstacle mécanique qui la retarde ; que les vapeurs qui pénètrent les gaz ne supportent point la pression à laquelle est soumis le gaz dans lequel elles sont disséminées ; du moins cette pression ne les fait point repasser à l'état liquide, comme elle le ferait si les vapeurs étaient dans un espace vide ; enfin que la vapeur se loge dans les gaz comme dans un espace vide de même volume et à la même température.

Densité des vapeurs.

La connaissance de la densité des vapeurs est d'une très-haute importance dans les arts. Mais cette recherche présentait de grandes difficultés ; M. Gay-Lussac a résolu le problème d'une manière fort ingénieuse en le renversant. Il s'est proposé de déterminer le volume des vapeurs que pouvait produire, à la température de son ébullition, un volume donné de liquide. Nous ne décrirons point les procédés employés par ce célèbre physicien ; nous nous contenterons d'indiquer les résultats auxquels il est parvenu pour la vapeur d'eau.

M. Gay-Lussac a trouvé qu'un centimètre cube d'eau pure produit 1.6964 (1696 centimètres cubes) de vapeur à 100 degrés, et sous la pression ordinaire de l'atmosphère, c'est-à-dire 0 m. 76 de mercure. Ainsi la densité de la vapeur d'eau est à celle de l'eau comme 1 est à 1696 ; et comme un litre d'eau pèse 1000 grammes, 1 litre de vapeur pèse $\frac{1000}{1696}$ ou $\frac{1}{16.96}$. On peut facilement, d'après ce résultat, comparer le poids de la vapeur à celui de l'air : car on sait qu'un litre d'air sous la pression ordinaire et à la température de 100° pèse $\frac{1}{1031}$. Le poids de la vapeur est donc à celui de l'air comme 1,0577 est à 1,6964, ou à peu près comme 10 est à 16. Quant à la densité des vapeurs qui se forment sous des pressions plus grandes que celles de l'atmosphère, et par conséquent à des températures supérieures à 100°, il paraît qu'elles sont proportionnelles à leur force élastique.

Influence de la pression sur la température de l'ébullition.

Nous avons dit que la température de l'ébullition était celle à laquelle la force élastique des vapeurs qui se formaient pouvait soulever le poids de l'atmosphère. Il résulte de là que la température à laquelle ce phénomène se manifeste dépend de l'état du baromètre. Mais comme les variations de pression dans un même lieu sont très-peu considérables, elles n'ont qu'une très-faible influence sur la température de l'ébullition des liquides : ce n'est qu'autant qu'on s'élève à de très-grandes hauteurs au-dessus de la terre, que l'on obtient des variations sensibles. Mais on peut artificiellement faire varier la force élastique de l'air qui presse sur un liquide renfermé dans un vase ; et comme ces variations peuvent avoir lieu dans des limites fort étendues, on fait naître l'ébullition à des températures fort éloignées. Par exemple, si, au moyen d'une machine pneumatique, on raréfie l'air situé dans un vase qui renferme de l'eau, cette dernière pourra entrer en ébullition au-dessus de 30°. L'alcool, l'éther, entreront en ébullition à la température ordinaire. Si, au contraire, on augmente la pression de l'air situé au-dessus d'un liquide, en le comprimant avec une pompe foulante, l'ébullition ne pourra s'établir qu'à une température supérieure à celle de l'ébullition dans l'atmosphère. On peut parvenir à ce dernier résultat par un moyen beaucoup plus simple. En effet, si on soumet à l'action de la chaleur un vase hermétiquement fermé, renfermant une certaine quantité de liquide, les vapeurs qui se formeront à mesure que le liquide s'échauffera, s'accumuleront au-dessus du liquide, et y formeront une atmosphère artificielle, dont la pression, toujours croissante à mesure que la température s'élèvera, empêchera l'ébullition de se manifester. Si l'on voulait que l'ébullition se produisît à une température déterminée, il suffirait de pratiquer à la surface supérieure du vase une ouverture que l'on fermerait avec une plaque chargée d'un poids équivalent à la pression que la vapeur exercerait contre cette portion de la paroi, à la température que l'on ne voudrait pas dépasser : car une fois que l'on aurait atteint cette limite, la vapeur soulèverait la soupape, et son écoulement deviendrait continu. On obtiendrait alors l'ébullition à une température d'autant plus élevée que la charge de la soupape serait plus considérable.

Si le vase était complètement fermé, quelle que fût d'ailleurs sa résistance, la température s'élèverait infailliblement à un point tel, que le vase ne pourrait pas résister à la force élastique de la vapeur ; il serait brisé avec explosion, et ses fragments seraient lancés au loin avec une grande force. On voit, d'après cela, combien il est important de garnir de soupapes de sûreté les chaudières à vapeur.

Nous avons dit que, quand on échauffait un liquide renfermé dans un vase clos, la vapeur qui s'accumulait, retardait continuellement l'ébullition ; mais

ce retard n'a lieu que jusqu'à une certaine température, à laquelle toute la masse se transforme en vapeur. Ce fait remarquable a été constaté par M. Cagnard de La Tour. Les expériences ont eu lieu dans des tubes de verre fermés à la lampe d'émailleur. Ce physicien a reconnu, par une série d'expériences faites avec beaucoup de soin, 1° que l'éther se vaporisait complètement, en vase clos, à une température de 150°, dans un espace moindre que le double de son volume, et produisait une pression de 70 atmosphères; 2° que le sulfure de carbone se vaporisait à 210°, en produisant une pression de 37 atmosphères, 3° que l'alcool et l'eau présentaient les mêmes phénomènes. La température du changement d'état n'a point été déterminée; mais le premier de ces liquides produisait une pression de 119 atmosphères, en se vaporisant dans un espace à peu près de trois fois plus grand; et le second a presque toujours brisé les tubes dans lesquels il a été vaporisé, de sorte qu'il a été impossible de mesurer la pression que la vapeur complète de l'eau a produite.

Dans ce qui précède nous avons examiné la formation des vapeurs dans toutes les circonstances; mais nous n'avons point eu égard à la quantité de chaleur absorbée. Comme c'est un objet important, surtout dans l'emploi de la vapeur comme force motrice, nous entrerons à cet égard dans tous les détails nécessaires.

Absorption de chaleur par la vaporisation.

Lorsqu'un liquide est abandonné à l'air, sa vaporisation lente est uniquement due à la tension du liquide, et la quantité de vapeur formée dépend à la fois de la température du liquide, de celle de l'air et de la quantité de vapeur déjà existante dans l'air. Si l'air est saturé de vapeurs, et si sa température est égale à celle du liquide, l'évaporation n'a point lieu; mais dans toute autre circonstance, elle se manifeste avec plus ou moins d'activité, et comme la vapeur n'est autre chose que de l'eau dissoute dans le calorique, la vaporisation ne peut se faire qu'autant que le liquide lui-même, les corps environnants et l'air fournissent la chaleur nécessaire, et par conséquent leur température doit s'abaisser continuellement. Un grand nombre d'expériences viennent à l'appui de cette conséquence. Lorsqu'on met sur la main un liquide très-volatil, on éprouve une sensation de froid très-marquée. Lorsqu'on environne la boule d'un thermomètre d'une petite éponge ou d'amadou imbibé d'un liquide volatil, le thermomètre descend d'un grand nombre de degrés; le refroidissement serait encore bien plus considérable, si l'instrument était placé sous le récipient d'une machine pneumatique duquel on absorberait continuellement les vapeurs, parce que dans le même temps il s'en formerait une bien plus grande quantité; on obtiendrait le même effet en plaçant

le thermomètre dans un courant d'air, ou en le fixant à l'extrémité d'une fronde que l'on fergit tourner rapidement. Le procédé usité en Égypte et en Espagne pour rafraîchir l'eau est fondé sur le même principe : on emploie des vases poreux, à travers lesquels l'eau s'écoule lentement, et présente à l'extrémité une grande surface humide qui facilite son évaporation aux dépens de la température du vase et de l'eau qu'il renferme. On obtient le même résultat en exposant à l'air des vases métalliques pleins d'eau et recouverts de linges mouillés. Le refroidissement serait encore beaucoup plus rapide en plaçant les vases dans un courant d'air, ou en les attachant à une machine qui se meut avec rapidité, comme l'aile d'un moulin à vent. Nous terminerons l'énumération des faits qui constatent l'absorption de chaleur due à l'évaporation, en rapportant la belle expérience de M. Leslie, dans laquelle ce célèbre physicien est parvenu à congeler l'eau par le refroidissement provenant de l'évaporation spontanée. L'appareil de M. Leslie consiste un une large capsule de verre ou de porcelaine remplie d'acide sulfurique concentré ; au-dessus se trouve une capsule métallique très-plate, pleine d'eau et soutenue par trois pieds qui s'appuient contre les bords de la capsule pleine d'acide ; l'appareil est placé sous le récipient d'une bonne machine pneumatique, dans lequel on fait le vide ; l'acide sulfurique, ayant une très-grande affinité pour l'eau, s'empare de la vapeur à mesure qu'elle se forme, de sorte que l'émission de vapeur étant presque aussi rapide que si l'espace vide était indéfini, dans un temps très-court, l'abaissement de température de l'eau est suffisant pour la congeler. M. Gay-Lussac est même parvenu par ce moyen à congeler le mercure, en entourant d'un mélange frigorifique l'appareil dans lequel la vapeur aqueuse était produite et absorbée.

Lorsqu'on soumet à l'action de la chaleur, un liquide renfermé dans un vase ouvert, le liquide s'échauffe, émet une quantité de vapeurs qui croît à mesure que la température augmente ; cette vapeur ne se forme plus alors que par la chaleur émanée du foyer. Si cette quantité de chaleur est suffisante, le liquide arrive bientôt à la température de l'ébullition, et alors sa température reste constante, jusqu'à ce que tout le liquide soit vaporisé. Ainsi à cette époque toute la chaleur envoyée par le foyer est employée à former de la vapeur.

Mais si le foyer est très-petit, relativement à la masse liquide et à sa surface libre, le liquide n'arrive point à l'ébullition ; sa température reste stationnaire à une température inférieure. Ce fait, que l'on a souvent l'occasion de reconnaître, provient de ce que l'évaporation qui se fait continuellement à la surface du liquide, à mesure qu'il s'échauffe, est proportionnelle à la surface libre du liquide et à sa température ; or cette évaporation enlève du liquide une quantité croissante de chaleur ; par conséquent, on conçoit facilement que, si la surface libre du liquide est très-grande, relativement à la quantité de combustible qui se brûle dans le foyer, il arrivera une époque à laquelle la quantité de chaleur emportée par l'évaporation sera égale à celle qui est

reque par le foyer ; à cet instaat la température de l'eau ne pourra plus augmenter, et cette température pourra être plus ou moins au-dessous de celle de l'ébullition.

Lorsqu'on soumet à l'action de la chaleur un liquide renfermé dans un vase clos, d'où la vapeur ne peut s'échapper qu'en soulevant une soupape pressée par un certain poids, l'eau s'échauffe au-delà du terme de son ébullition dans l'air ; et lorsque la force élastique de la vapeur peut supporter le poids de l'atmosphère, plus celui de la soupape, l'ébullition se développe et la température de l'eau reste stationnaire. Mais il est plusieurs circonstances dans lesquelles elle peut s'élever encore. Si, par exemple, on active davantage le feu, et que l'issue donnée à la vapeur ne soit pas suffisante, cette augmentation de vitesse qu'elle doit acquérir, exigera une augmentation correspondante dans la pression de la vapeur qui est au-dessus du liquide, et par conséquent une élévation dans la température du liquide. Le même effet peut être produit sans que le foyer soit augmenté, si la vapeur ne peut pas se dégager en proportion de sa formation : l'excès de vapeur reste dans l'appareil, et sa force élastique augmente continuellement.

Dans toutes ces diverses circonstances d'évaporation par la chaleur, nous avons dit que la chaleur nécessaire à la production des vapeurs était uniquement fournie par le combustible. Des expériences multipliées ont démontré que la quantité de chaleur nécessaire pour évaporer le même poids du liquide, était exactement la même, à quelque température que fût le liquide. Ainsi il faut la même quantité de chaleur pour réduire 1 k. d'eau en vapeur, soit par une évaporation lente, soit à la température de l'ébullition, soit dans un vase clos dont l'ouverture de dégagement est fermée par 100 poids quelconque ; et, comme on même combustible en brûlant ne peut dégager qu'une quantité limitée de chaleur, il s'en suit qu'il faut toujours la même quantité de combustible pour évaporer le même poids d'un liquide, quelle que soit d'ailleurs la température à laquelle la vaporisation ait lieu.

La quantité de vapeur formée dans un temps donné ne dépend pas uniquement de celle du combustible brûlé dans le foyer ; il faut encore que la surface de la chaudière qui reçoit l'action du feu soit proportionnée à la quantité de chaleur qu'elle doit transmettre au liquide ; car la quantité de chaleur qui passe à travers les parois de la chaudière est proportionnelle à sa surface. On a trouvé, par expérience, qu'un mètre carré de cuivre exposé à l'action du foyer le plus violent, pouvait, dans une heure, transmettre une quantité de chaleur capable de réduire en vapeur 100 k. d'eau ; mais, dans la pratique, on compte de 20 à 30 k. de vapeur formée par mètre carré de surface de chaudière, et une consommation correspondante de 6 à 7 k. de combustible ; si on en brûlait davantage, une grande partie de la chaleur développée par cet excédant de combustible ne passerait pas dans l'eau.

Ainsi, la quantité de chaleur absorbée par la vaporisation d'un même poids

d'eau est constante. On a trouvé qu'elle était égale à celle qui serait nécessaire, pour élever de la température de la glace fondante à celle de l'ébullition, six fois et demie le même poids d'eau, c'est-à-dire que la chaleur nécessaire pour évaporer 1 k. d'eau élèverait 6 k., 5 d'eau de 0° à 100°.

Tels sont les phénomènes les plus importants que présente le développement des vapeurs dans les diverses circonstances où elles peuvent se former. Examinons maintenant le retour des vapeurs à l'état liquide, qu'on désigne ordinairement sous le nom de condensation.

Condensation des vapeurs.

Lorsqu'un espace ne renfermant point d'air, est rempli de vapeur saturée, cette vapeur exerce contre toutes les parois de cet espace une pression égale à sa force élastique. Cette quantité de vapeur peut être successivement condensée, en diminuant graduellement l'espace qu'elle occupe; mais la vapeur restante conserverait toujours la même force; il faut même, pour qu'elle n'augmente pas, que la diminution de volume ait lieu très-lentement: car la vapeur, en se liquéfiant, remet en liberté toute la chaleur qu'elle avait absorbée en se formant, et cette chaleur doit nécessairement élever la température de la vapeur qui reste, à moins que l'opération ne se fasse avec assez de lenteur, pour que cet excès de chaleur se dissipe à mesure qu'il se reproduit.

On peut encore faire retourner la vapeur à l'état liquide, en abaissant sa température: dans ce cas, la force élastique de la vapeur non condensée diminue, et à chaque instant elle est égale à celle qui se formerait au-dessus d'un liquide qui aurait la même température. Par exemple, si la vapeur a 100°, sa force élastique sera égale au poids de l'atmosphère: elle fera par conséquent équilibre au poids d'une colonne de mercure de 0 m. 76; mais si on la refroidit à 30°, la vapeur qui resterait ne sera plus capable que de soutenir une pression de 0 m. 03. Il suit de là, que par le refroidissement on ne peut jamais anéantir complètement la vapeur, ni par conséquent sa force élastique; car, l'eau ayant une tension à toutes les températures, la glace même formant des vapeurs, après le refroidissement, il restera toujours une quantité de vapeur correspondante à la nouvelle température; mais lorsque cette dernière est peu élevée, la tension que conserve la vapeur est très-petite.

Lorsque de la vapeur est renfermée dans un vase, on peut la refroidir et par conséquent la condenser par deux moyens différents. On peut environner le vase d'un corps plus froid qui absorbe lentement la chaleur à travers les parois du vase; on peut aussi injecter dans le vase un corps liquide. Le premier moyen est employé lorsqu'on veut recueillir le liquide provenant des vapeurs condensées, comme dans les distilleries; le second l'est uniquement dans les machines à vapeur, parce que la condensation est très-rapide: la

quantité d'eau doit évidemment être d'autant plus grande que l'on veut diminuer davantage la force de la vapeur.

Jusqu'à ces derniers temps on avait distingué les vapeurs des gaz. Les vapeurs, disait-on, sont des substances gazeuses qui se liquéfient par la pression ou le refroidissement. Les gaz proprement dits ne se condensent ni par la pression ni par le refroidissement. Mais un grand nombre de ces prétendus gaz permanents, ont réellement été condensés par la pression ou par le refroidissement : tels sont l'acide carbonique, l'acide sulfureux, le chlore, etc.; et il est probable que si tous ne l'ont pas été, cela tient à ce que la pression et le refroidissement n'ont pas été portés au degré suffisant. Il résulte de là que les gaz ne sont autre chose que des vapeurs non saturées, qui doivent se dilater par la chaleur, se contracter par le refroidissement et la pression, sans se liquéfier, tant que leur densité n'est pas telle que l'espace qu'ils occupent soit saturé.

Nous terminerons cet exposé succinct des propriétés les plus importantes des vapeurs, par un tableau de la force élastique de la vapeur d'eau à différentes températures.

Table des forces élastiques de la vapeur d'eau, et des températures correspondantes de 1 à 24 atmosphères, d'après l'observation, et de 24 à 50 atmosphères, par le calcul.

ÉLASTICITÉ de la vapeur en prenant la pression de l'atmosphère pour unité.	COLONNE de mercure à 0°, qui mesure l'élasticité	TEMPÉRATURES correspondantes, données par le thermom. centigrade à mercure.	PRESSION sur un centimètre carré.
	mètres.	Degrés.	Kilogrammes.
1	0.7600	100	1.033
1 1/2	1.1400	112.2	1.540
2	1.5200	121.4	2.066
2 1/2	1.9000	129.8	2.592
3	2.280	133.1	3.099
3 1/2	2.66	140.6	3.615
4	3.04	145.4 (1)	4.132
4 1/2	3.42	149.06	4.648
5	3.80	153.08	5.165
5 1/2	4.18	156.8	5.681
6	4.56	160.2	6.198
6 1/2	4.94	163.48	6.714
7	5.32	166.5	7.231
7 1/2	5.70	169.37	7.747
8	6.08	172.1	8.264
9	6.46	177.1	8.797
10	7.60	181.6	10.35
11	8.26	186.03	11.563
12	9.12	190.0	12.806
13	9.88	193.7	13.429
14	10.64	197.19	14.452
15	11.40	200.48	15.493
16	12.16	203.60	16.599
17	12.92	206.57	17.561
18	13.68	209.4	18.594
19	14.44	212.1	19.627
20	15.20	214.7	20.660
21	15.96	217.2	21.693
22	16.72	219.6	22.726
23	17.48	221.9	23.759
24	18.24	224.2	24.792
25	19.00	226.3	25.826
30	22.80	236.2	30.990
35	26.60	244.85	36.135
40	30.40	252.55	41.380
45	34.20	259.32	46.488
50	38.00	265.89	51.630

(1) Les températures qui correspondent aux tensions de 1 à 4 atmosp., inclusive-
ment, ont été calculées par la formule de Tredgold qui, dans cette partie de l'é-
chelle, s'accorde mieux que l'autre avec nos observations.

NOTES DIVERSES.

Nous avons rejeté dans ces notes, divers détails scientifiques, que le caractère entièrement pratique de notre ouvrage ne nous permettait pas d'y comprendre; les hommes studieux qui ne se contentent pas de résultats et de recettes pratiques, et qui veulent connaître les causes, les données premières, et la route suivie pour arriver aux faits, devaient en trouver ici les éléments. Nous les avons fait suivre par les ordonnances et instructions officielles les plus importantes.

NOTE 1^{re} (89).

Influence de la hauteur des cheminées.

Les tableaux suivants sont extraits du *Traité de la Chaleur*. (Péclet, t. I, p. 254.)

Vitesse de l'air chaud, à température et à diamètre égal dans des cheminées dont la hauteur varie.

Hauteur.	Diamètre.	Excès de la tempér. moyen. de l'air chaud sur celle de l'air extérieur.	Vitesse.	RAPPORTS	
				de hauteur	de vitesse.
mètres.	mètres.	degrés.			
3.65	0.2115	45	1.33	1	1
9.95	"	42	1.48	3	1.11
3.65	"	88	2.10	1	1
6.80	"	80	2.20	2	1.05
9.95	"	81	1.99	3	0.95
3.65	"	148	2.70	1	1
6.80	"	155	3	2	1.11
9.95	"	154	2.87	3	1.06
3.65	0.175	80	1.82	1	1
6.80	"	80	1.80	2	1
9.95	"	75	1.73	3	0.95
6.80	"	95	23.12	1	1
9.95	"	96	2.20	1.50	1.03
3.93	0.12	227	2.75	1	1
7.07	"	230	2.83	1.8	1.03
10.23	"	237	2.70	2.6	0.98
13.38	"	243	2.95	3.4	1.07
39.03	0.08	113	1.60	1	1
7.08	"	114	1.70	1.8	1.06
10.23	"	102	1.60	2.6	1
13.38	"	120	1.67	3.4	1.04

Vitesse de l'air chaud, à hauteur et à température égale dans des cheminées dont la section varie.

Hauteur.	Diamètre.	Température.	Vitesse.	RAPPORTS	
				de surface.	de vitesse.
mètres.	mètres.	Degrés.	mètres.		
3.65	0.080	210	2	1	1
"	0.120	227	2.75	2.2	1.37
"	0.175	221	3.04	4.7	1.52
"	0.2115	220	3.22	7	1.61
6.18	0.08	94	1.57	1	1
et 7.08	0.120	98	1.77	2.2	1.12
	0.175	80	1.80	4.7	1.14
	0.2115	80	2.20	7	1.40

NOTE 2 (696).

*Formule générale pour calculer une machine à vapeur à piston,
par LUCAS-CHAMPIONNIÈRE, ingénieur civil.*

Les gaz transmettent la pression dans tous les sens et à de grandes distances ; si donc on établit une communication entre une chaudière à vapeur et un cylindre, la pression de la chaudière s'y transmettra dans tous les sens ; mais si le piston se meut, les deux pressions ne seront plus les mêmes, et le volume augmentant dans le cylindre, la vapeur de la chaudière n'y pénétrera qu'autant qu'elle y trouvera une pression moindre.

La pression dans le cylindre variera suivant la forme et la grandeur du tube, et l'orifice par lequel la vapeur sera introduite, et quand on voudra connaître la pression sous le piston, il faudra prendre la tension dans le cylindre, qui sera toujours plus faible que dans la chaudière. On appelle travail appliqué à un corps, la pression qui le pousse dans le sens de son mouvement ; la pression des gaz étant constante, celle de la vapeur sera la même sur toutes les petites unités de surface de la tête du piston, et si P est la pression par centimètre carré, et S la surface totale du piston, la force qui chassera ce piston sera représentée par $P \times S$, et si le piston avait à vaincre une pression contraire, soit que ce fût une machine atmosphérique ou sans condensation, soit que ce fût l'élasticité de la vapeur non condensée, cette pression P' diminuerait l'effet de la vapeur venant de la chaudière, de sorte que l'effort réel serait la différence de ces deux pressions ou $P - P'$.

Si donc on appelle

P la pression en kilogrammes venant de la chaudière sur le piston;

P' la pression en kilogrammes qui a lieu sur le piston du côté opposé au mouvement;

S la surface du piston en centimètres carrés;

L la course du piston en mètres pendant une seconde;

L'expression du travail en kilogrammes élevés à 1 mètre, sera représentée par

$$S \times L (P - P')$$

Travail dû à un kilogramme de vapeur agissant sous la pression de l'atmosphère.

Soit un cylindre ayant pour base 1 décimètre carré et pour hauteur 170 m.; si nous supposons dans ce cylindre un piston, et sous ce piston 1 kilogramme d'eau, cette eau, en se réduisant en vapeur, occupera tout le volume du cylindre, et fera successivement monter le piston jusqu'au sommet du cylindre qu'on suppose ouvert à l'air libre. Alors, en mettant la vapeur en communication avec un condenseur, le piston sera comprimé extérieurement par une pression P , égale à 103 k. 34, et la pression P' dépendra de la température de l'eau de condensation. Supposons qu'elle soit à 38 degrés, on aura $P' = 6$ k. 46, et la pression $P - P'$, devenant 96 k. 88, fera descendre le piston jusqu'au fond du cylindre. Le travail mécanique sera exprimé par le produit 170 m. $\times$ 96 k. 88, et donnera pour résultat 16,473 kilogrammes élevés à 1 mètre.

Cette quantité de travail serait celle due à 1 kilog. de vapeur agissant à une tension quelconque sous la pression de l'atmosphère, avec une condensation à 38 degrés, si la vapeur se comportait exactement suivant la loi de Mariotte, c'est-à-dire si elle ne changeait pas de température en changeant de pression; car, laissant toujours au cylindre sa longueur de 170 m., sa base diminuerait dans le rapport inverse de la pression, c'est-à-dire que pour 2 atmosphères elle serait $\frac{1}{2} dc$, pour 4 atmosphères $\frac{1}{4} dc$, etc.

Mais à la pression de 2 atmosphères, la température de la vapeur étant de 121,55 degrés, le volume d'un kilogramme sera un peu plus de moitié de ce qu'il serait, si la vapeur conservait sa température de 100 degrés, et comme le travail produit est égal au volume de la vapeur multiplié par la pression, on en conclura que à la tension de 2 atmosphères, le travail mécanique dû à 1 k. de vapeur, est un peu plus grand qu'à celle de 1 atmosphère.

Cherchons quelle sera la dilatation de 100° à 121°, 55.

Soit V le volume d'un kilog. à 100°

Soit V' le volume d'un kilog. à 21,55,

$$\text{on a : } V' = V \left(\frac{1 + \alpha t'}{1 + \alpha t} \right) \quad \alpha = \frac{1}{267}$$

$$\text{d'où } V' = V \left(\frac{1 + \frac{1}{267} t'}{1 + \frac{1}{267} t} \right) = V \left(\frac{267 + t'}{267 + t} \right)$$

Ajoutant $+t$ et $-t$, il vient :

$$\begin{aligned} V' &= V \left(\frac{267 + t + t' - t}{267 + t} \right) = V \left(\frac{267 + t}{267 + t} + \frac{t' - t}{267 + t} \right) \\ &= V \left(1 + \frac{t' - t}{267 + t} \right) = 850 \left(1 + \frac{21,55}{367} \right) = 899,91. \end{aligned}$$

Ainsi, à la pression de 2 atmosphères, le volume de la vapeur, par son changement de température, a été augmenté d'environ 1/17, ce qui allongera la course du piston, et par suite augmentera le travail.

En appliquant cette formule à différentes pressions, on a formé le tableau suivant :

Tension exprimée en atmosphères.	Température en degrés du thermomètre centigrade.	VOLUME d'un kilogramme de vapeur en mètres cubes		Travail pour 1 kilogram. de vapeur, sans détente et avec condensation à 38 degrés.
		Si la tempéra- ture initiale de 100 degrés restait constante	A la pression indiquée et à sa température réelle.	
1	dégrés. 100.00	mètres cubes. 1.70000	mètres cubes. 1.70000	kilogrammètres. 16473
2	121.55	0.85000	0.89991	18016
3	135.00	0.56670	0.62074	18840
4	144.95	0.42800	0.47705	19411
5	153.30	0.34000	0.38938	19870
6	160.00	0.28333	0.32963	20222
7	166.42	0.24285	0.28670	20587
8	172.13	0.21250	0.25427	20858
9	177.40	0.18889	0.22872	21127
10	182.00	0.17000	0.20798	21362

Puisqu'à une haute pression 1 kilog. de vapeur produit plus de travail qu'à une basse pression, il faudra moins d'eau à force égale pour opérer la condensation et pour l'alimentation, mais d'un autre côté les fuites de vapeur seront plus grandes; et la chaudière plus épaisse coûtera plus cher et utilisera moins le combustible.

Si l'on suppose maintenant de la vapeur agissant dans un cylindre, dont le volume contient 1 kilog., et qui a déjà donné par sa force élastique un travail de 16,473 km., on pourra encore utiliser cette vapeur en établissant derrière le piston un vide plus ou moins parfait; alors elle se dilatera jusqu'à ce que la résistance soit en équilibre avec sa force élastique.

En appelant x la partie occupée par la vapeur dans le cylindre, au moment où on intercepte la communication avec la chaudière, et appelant également x la pression qui existe alors sur le piston; comme cette pression ira toujours en diminuant à mesure que la vapeur se dilatera, on pourra former une courbe dont la ligne des x sera la longueur parcourue par le piston, et rel'e des y , la pression de la vapeur; quand le chemin parcouru par le piston sera double, la pression sera presque moitié (elle serait exactement moitié si la vapeur en se dilatant ne se refroidissait pas; mais comme la différence qui en résulte est faible, et que ce système simplifie nos calculs, nous l'admettrons pour la pratique). Les pressions seront donc en raison inverse des chemins parcourus par le piston, et l'on aura $y = \frac{1}{x}$ ou $xy = 1$.

Pour avoir le travail qu'on peut obtenir, outre celui qu'a déjà donné la vapeur sans détente, il faudra calculer la surface de la courbe, ce qui peut être fait par la méthode indiquée (705), on en prenant le logarithme hyperbolique du chemin parcouru par le piston, celui où la vapeur agissait sans expansion étant 1.

On pourra donc établir la table suivante en multipliant les logarithmes tabulaires par 2,3028.

Volume de la vapeur après la détente, celui sans expausion étant 1.	Travail correspondant à la détente de la vapeur.
1	0, 000
1 1/2	0, 405
2	0, 693
2 1/2	0, 916
3	1, 088
3 1/2	1, 253
4	1, 386
4 1/2	1, 504
5	1, 609

Prenons pour exemple celui donné (705), où la vapeur est introduite sous un piston de 0 m. 80 de diamètre avec une tension de 3 1/2 atmosphères, et devant se détendre jusqu'à occuper 4 1/2 fois le volume primitif; la course entière étant de 1 m. 44, il s'ensuit que la vapeur agit sans détente pendant 0 m. 32, et son travail alors est égal à :

$$S \times l (P - P').$$

$$S = 5026, 56$$

$$l = 0,^m 32$$

$$P = 3,^k 6155$$

$$P' \text{ supposé nul,}$$

$$\text{ou } 5026,56 \times 0,^m 32 (3^k 6155 - 0) = 5816^{\text{km}}$$

Pour avoir le travail dû à la détente, nous prendrons dans la table pour 4 1/2 le nombre 1,504, et nous aurons la proportion suivante :

$$1 : 1,504 :: 5816 : x, \text{ d'où } x = 8747^{\text{km}}$$

Le travail total se compose de celui où la vapeur a agi avec et sans détente, on aura pour dernier résultat :

$$5816 \text{ km} + 8747 \text{ km} = 14563 \text{ km.}$$

Voici donc le travail que la vapeur a produit sous le piston pendant une course, et en multipliant ce produit par le nombre de courses en une minute, et divisant par $60 \times 75 = 450$; on aura le travail théorique exprimé en chevaux. Le travail réel sera obtenu en multipliant le travail théorique par le coefficient indiqué (712), dont la valeur dépend de l'espèce et de la force de la machine.

NOTE 3 (172).

Nétoyage des chaudières par l'acide chlorhydrique.

Voici quelques données qui serviront à faire ces calculs :

100 grammes d'acide chlorhydrique du commerce à 22°, peuvent dissoudre 46 gr. de carbonate de chaux pur.

100 litres d'eau de Belleville, qui est la plus chargée en sulfate de chaux, des eaux de Paris, donnera 139 gr. de dépôt contenant 25 gr. $1/2$ de carbonate, exigeant l'emploi de 55 gr. $1/2$ d'acide chlorhydrique.

100 litres d'eau d'Arcueil fournissent 32 gr. $1/2$ de dépôt calcaire, dans lequel on trouve 16 gr. de carbonate de chaux, que l'on ne peut dissoudre qu'en employant 27 gr. d'acide.

100 litres d'eau de Sèze, ne donnent que 16 gr. de dépôt calcaire, contenant 10 gr. de carbonate de chaux, et n'exigent que l'emploi de 25 gr. d'acide.

Ce procédé de nettoyage a été employé avec le plus grand succès, à dégorger une conduite de tuyaux de plomb de 218 mètres de longueur, sans la démonter, ni déranger en rien les tuyaux. On fit passer lentement un courant d'acide chlorhydrique faible à travers la conduite qui était presque entièrement engorgée, en ayant soin de ne laisser sortir l'acide que quand il était saturé, et en peu de jours le dépôt fut complètement dissous. Un courant d'eau lava la conduite, et en opéra ainsi, à peu de frais, le dégorgement qui aurait coûté quatre fois plus s'il eût été nécessaire de renouveler tous les tuyaux. Il est un grand nombre de circonstances, où des moyens semblables peuvent devenir très-utiles. Aussi n'hésitons-nous pas à publier cette note, pour appeler sur les procédés qu'elle développe, toute l'attention des manufacturiers qui emploient des chaudières à vapeur, ou qui peuvent lui trouver des applications que le bas prix de l'acide chlorhydrique doit rendre très-fréquentes.

NOTE 4 (577).

De la fermeture du cendrier.

Tredgold et beaucoup d'ingénieurs anglais conseillent de régler la marche du feu par l'ouverture du cendrier; Armstrong proscrit, avec raison, ce procédé, le registre de la cheminée servant à régler la quantité d'air qui doit traverser le foyer, et la forme du cendrier la manière dont cet air arrive sur la grille. Il recommande en même temps de donner au cendrier une ouverture égale à la surface de la grille, et de ne pas le fermer aux trois quarts, comme font quelques constructeurs. C'est seulement pendant les intervalles de chauffe des fourneaux, et la nuit surtout, quand la machine est arrêtée, qu'il y a utilité à fermer complètement le cendrier, pour diminuer le refroidissement du foyer et des carneaux. Il assure que des expériences ont donné 12 o/o d'économie dans le combustible, par l'emploi de ce procédé.

Ce résultat nous paraît fort exagéré, et hors de proportion avec la quantité de combustible nécessaire pour réchauffer un fourneau et faire monter sa vapeur, avant la mise en marche de la machine.

Armstrong, ingénieur vraiment pratique, combat fortement le système de combustion lente, appliqué à la production de la vapeur. Nous avons dit dans quels cas cette combustion lente devait être seulement adoptée (109). Il ajoute que tout le principe et le bon service d'un fourneau est dans ces deux mots : combustible en couche mince et tirage vif.

NOTE 5 (218).

Du mesurage ou blocage de la houille.

Les tables que nous donnons ici pour jauger rapidement les bateaux, et mesurer les tas de houille, seront sans doute utiles aux manufacturiers, qui en achètent de grandes quantités, et qui sont exposés à être trompés chaque jour sur les mesures, ou astreints à de longues pesées, qui exigent une grande dépense de temps et beaucoup de main-d'œuvre inutile. Ce sont les tables qui servent au commerce de houille de Paris, dans ses transactions journalières.

1 mètre cube équivant à
1 hectolitre —

1000 litres,
100 —

Donc le mètre cube équivaut à	10 hectolitres.
Et un hectolitre —	0,1 mètre cube.
L'hectolitre pour la mesure des matières sèches, est un cylindre dont la hauteur est égale à son diamètre.	
Pour l'hectolitre, diamètre et hauteur,	0 m. 5031
Pour le demi-hect.,	0 m. 3993
L'hectolitre ras de charbon de terre pèse communément sec	80 kil.
La voie de 15 hectolitres pèse	1200
Quand le charbon de terre est mouillé,	
L'hectolitre pèse, terme moyen,	87
La voie,	1325
L'hectolitre de coke ou charbon épuré,	57
La voie,	855

Mesurage d'un bateau chargé de houille.

Cette mesure consiste à évaluer le volume d'eau déplacé par la houille, à chercher ensuite le nombre d'hectolitres d'eau contenus dans le volume trouvé, et à le multiplier par le rapport qui existe entre le volume de l'eau et le volume de la houille, à poids égal, d'après la table qui suit. En effet, il est prouvé qu'un bateau plongé dans l'eau déplace un volume d'eau qui pèse autant que le bateau entier avec sa charge, c'est-à-dire qu'en mesurant le volume de la partie qui plonge dans l'eau, le bateau et sa charge pèseront ensemble autant de fois 100 k. qu'il y aura d'hectolitres dans ce volume.

Tables des volumes qu'occupent, suivant leur qualité, 100 kil. de coke ou de charbon de terre, c'est-à-dire l'équivalent en poids d'un hectolitre d'eau.

Charbon épuré ou coke.

Coke pesant 55 kil. l'hect.	100 kil. ou la valeur de 1 hect.	hectol.
	d'eau donnent	1,82
— 56 —	—	1,78
— 57 —	—	1,75
— 58 —	—	1,72

Houille ou charbon de terre.

Houille pesant 78 kil. l'hect.		100 kil. on la valeur de 1 hect.		hectol.
		d'eau, donnent		
—	79	—	—	1,28
—	80	—	—	1,27
—	81	—	—	1,25
—	82	—	—	1,23
—	83	—	—	1,22
—	84	—	—	1,20
—	85	—	—	1,19
—	86	—	—	1,18
—	87	—	—	1,16
—	88	—	—	1,15
—	89	—	—	1,14
—	90	—	—	1,12
				1,11

Les toues employées au transport des houilles qui descendent la Seine pour venir à Paris, sont des bateaux construits sur des mesures régulières et constantes, et destinés à être détruits après le déchargement. Il y en a de deux dimensions.

Les grandes toues ont environ

22 m. 4 de longueur,
5 m. 03 de largeur.

Les petites ont

21 m. 4 de longueur,
3 m. 47 de largeur.

Elles s'achètent avec la houille même dont elles sont chargées, et se comptent comme houille en volume, de manière que l'on mesure la toue avec la houille qu'elle contient, ce qu'on nomme *bloquer une toue*. Pour cette opération, on mesure la longueur de la toue d'une cheffée à l'autre, c'est-à-dire, entre les planches qui retiennent le chargement de houille aux deux extrémités.

On mesure ensuite la largeur de la toue à quatre endroits : aux deux extrémités, puis à chaque tiers de la longueur ; on prend la moyenne de ces quatre largeurs, en y ajoutant 8 centimètres pour l'épaisseur des bordages. On mesure ensuite la hauteur du bateau en dedans, c'est-à-dire, depuis le bord jusqu'au

fond ; et la hauteur en dehors , c'est-à-dire , depuis le bord du bateau jusqu'au niveau de l'eau . Ces hauteurs se prennent aux quatre points où l'on a mesuré la largeur . On en prend également les moyennes . On retranche la hauteur en dehors de celle en dedans , pour avoir la hauteur de la partie plongée dans l'eau .

Le reste de l'opération ressemble au cubage de tout autre corps . Ayant la longueur , la largeur et la hauteur du volume d'eau déplacé , on multiplie ces trois dimensions l'une par l'autre , et le résultat est le volume de l'eau déplacée , en mètres cubes . En multipliant ce volume par 10 , on l'obtient en hectolitres d'eau ou autant de fois 100 k. de houille . Multipliant alors ce nombre d'hectolitres d'eau par le nombre correspondant d'hectolitres de houille , d'après sa qualité que l'on a déterminée d'avance en pesant un hectolitre , on a le nombre d'hectolitres de houille contenu dans le bateau , le bateau compris , comme nous l'avons déjà dit . On compte en général que le bateau vide paie les frais de déchargement .

Exemple de blocage d'une toue.

Longueur d'une chauffée à l'autre ,	mètres. 22,10
Largeur sur quatre points ,	3,50
	3,90
	3,90
	3,50
Quatre mesures ensemble	14,80
1/4 du tout ou moyenne de la largeur ,	3,70
A ajouter pour les bordages ,	0,08
Largeur totale	3,78
Hauteur en dedans.	Hauteur en dehors.

Prenez aux mêmes points où l'on a déjà mesurée la largeur , et sur chaque côté de la toue , ce qui donne huit mesures en dedans et huit en dehors .

mètres.		mètres.
1,12		0,66
1,14		0,63
1,05		0,34
1,05		0,34
A reporter 4,36		A reporter 1,97

	mètres.		mètres.
<i>Report</i>	4,36	<i>Report</i>	1,97
	1,05		0,36
	1,05		0,36
	1,00		0,49
	1,00		0,55
	8,46		3,73
	8 m 46		
Moins	3 73		
Différence,	4 m 78		
Hauteur de la partie plongée ou moyenne,	0 59		

	mètres.
Longueur du volume d'eau déplacé,	22,10
Largeur moyenne,	3,78
Hauteur moyenne,	0,59

Multipliant 22 m. 10 par 3 m. 78 et par 0 m. 59, on obtient en mètres cubes, 49,382 mètres cubes.
en hectolitres, 10 fois ce nombre, 493,82 hectolitres.

Si la houille est sèche et pèse 80 kil. l'hect., la table ci-dessus donne pour le volume de houille correspondant à 1 hectolit. d'eau 1,25 hectolitres.

493,8 hectol. multipliant 1,25 hectolit.,
donnent 616 hectol. de houille.
tout compris.

Quand le bateau ne doit pas être détruit, on obtient le poids de la houille en mesurant le volume du bateau plongé dans l'eau, à charge et ensuite à vide. La différence donne évidemment le volume d'eau déplacé par la houille; multipliant alors ce volume en hectolitres par le rapport correspondant à sa qualité dans la table, on obtient le nombre d'hectolitres de houille qu'il contient.

Ce procédé s'applique à tous les bateaux, quelles que soient leurs formes et leurs dimensions, qui varient, suivant le pays où on les a construits. Il y a en outre des usages reçus à Paris pour le mesurage des divers bateaux : il est bon de les connaître aussi.

Pour les bateaux flamands, on prend deux mesures au centre, une en avant et une en arrière, à deux mètres de chaque extrémité.

Pour les bateaux picards ou *besogres*, l'arrière est égal à la moitié de la longueur; l'avant est égal au tiers de la longueur.

Pour les bateaux marois achevés en Picardie, l'arrière et l'avant sont comptés chacun pour un tiers.

Tableau de l'opération pour un bateau marois.

Longueur,	$\left\{ \begin{array}{l} \text{avant,} \quad 0 \text{ m. } 70 \\ \text{centre,} \quad 26 \quad 40 \\ \text{arrière.} \quad 1 \quad 50 \end{array} \right\}$	ensemble 28 m. 60
Largeur,		mètres.
Une mesure à la fin de l'arrière,		5,90
— à 1 mètre de la première matière,		6 "
— à 1 mètre de la dernière matière,		6 "
— au commencement de la dernière matière,		5,80
		23,70
1/4 ou la moyenne,		5,92
Ajouter pour l'épaisseur des deux bordages,		0,08
		6,00

Hauteur du flot à plein.

Hauteur du flot à vide.

Ces mesures sont prises depuis le bord du bateau jusqu'au niveau de l'eau, aux mêmes points que les largeurs, et sur les deux bords du bateau, ce qui donne 8 mesures pour chacun :

mètres.		mètres.
0,70		1,58
0,70		1,58
0,18		1,24
0,18		1,24
0,22		1,30
0,22		1,30
0,42		4,48
0,42		1,52
3,04	11 m 24	11,24
Moins,	3 04	
Différence,	8 m 20	

1/8 ou moyenne

1,03, c'est-à-dire, hauteur dont la charge de

houille faisait enfoncer le bateau, on hauteur du volume d'eau déplacé par la bouille : donc 28 m. 60 multipliant 6 m., multipliant 1 m. 03, donneot le volume d'eau en mètres cubes; et quoad 00 le multiplie par 10, en hectolitres, soit 176,7 mètres cubes, ou 1767 hectolitres d'eau. Si nous supposons cette houille mouillée, de sorte que l'hectolitre en pèse 87 k. la table nous donne, pour le rapport correspondant du volume en bouille, 1,15 hect. par chaque hectolitre d'eau. Multipliant donc 1767 hect. par 1,15 hect., on obtient 2032 hect. de bouille ou 162,500 k. de houille sèche.

On emploie aussi à Paris, pour le blocage des grandes toues, noe méthode beaucoup plus rapide, et qui donne des résultats fort exacts. Il suffit de mesurer la hauteur de la partie plogée, devant, au milieu et derrière le bateau, des deux côtés, et en ajoutant ensemble les trois moyennes de ces six mesares, la somme donne immédiatement, au moyen d'une table, la quantité de bouille composant le chargement, la toue comprise.

Voici la table qui sert à ce blocage.

1,78 mètres donnent		570 hectolitres,
1,83	—	585 —
1,89	—	600 —
1,95	—	615 —
2,00	—	630 —
2,06	—	645 —
2,11	—	660 —
2,17	—	675 —

Nous terminerons notre article par un exemple qui montrera la manière d'employer cette table.

	Hauteur du bateau en dedans.	Hauteur depuis le bord jusqu'au niveau du flot.	Différence ou hauteur plongée.	Moyenne.	
Sur le devant.	m. 1.14	m. 0.54	m. 0.63	m. 0.58	somme 2 m. 01
	1.14	0.60	0.54		
Sur le milieu.	1.14	0.55	0.79	0.78	
	1.14	0.37	0.77		
Sur le derrière.	1.22	0.54	0.68	0.63	
	1.28	0.66	0.62		

Ces 2 m. 01, d'après la table ci-dessus, donnent 632 hectolitres.

NOTE 6 (308, planche 3, fig. 1 et 2).

Calcul des soupapes de sûreté.

On sait que le poids de l'air, ou de l'atmosphère, qui pèse sur une surface de 1 centimètre carré, est égal à un kilogramme environ. Supposons que la soupape de sûreté ait une surface de $7 \frac{1}{2}$ centimètres carrés, et qu'elle ne soit chargée d'aucun poids; lorsque la vapeur sera capable de soulever cette soupape, il est évident qu'elle supportera un poids égal à celui de l'air, c'est-à-dire que sa force sera suffisante pour soulever le poids de l'air, que nous avons dit être égal à 1 kilogramme sur chaque centimètre carré; en d'autres termes, sa force sera égale au poids de l'atmosphère : c'est ce que les mécaniciens appellent de la vapeur à une atmosphère de pression.

Si maintenant cette soupape, qui ne supportait précédemment que le poids de l'air, égal à 7 kil. $\frac{1}{2}$ par $7 \frac{1}{2}$ centimètres carrés, vient à être chargée, en outre, d'un poids de 7 kil. $\frac{1}{2}$: comme le poids de l'air la presse toujours de

même, il est évident que la vapeur capable de la soulever alors, soulèvera deux fois le poids de l'atmosphère. Soit 15 kil.; elle est donc deux fois plus forte que précédemment. C'est de la vapeur à 2 atmosphères de pression.

Si on charge la soupape d'un poids de 15 kil., plus le poids de l'air, qui reste le même, en tout 22 kil. $\frac{1}{2}$, la vapeur capable de soulever alors la soupape, supportera une pression trois fois plus grande, ou de 3 kil. par centimètre carré. Ce sera de la vapeur à 3 atmosphères.

On peut ainsi obtenir de la vapeur à 3, 4, 6, 8 atmosphères de pression et au-delà, c'est-à-dire de la vapeur dont la tension est assez forte pour soulever une soupape de 1 centimètre carré, chargée de 2, 3, 4, 6 et 8 kilogrammes, ou deux, trois, quatre, six et huit fois le poids de l'atmosphère.

On a même voulu, dans quelques machines, employer la vapeur à 32 atmosphères, mais sans succès.

La pression la plus avantageuse pour travailler dans les machines de Woolf, est celle de 3 à 4 atmosphères. Les soupapes doivent donc être réglées de manière à se soulever quand la tension s'élève au-dessus de ce degré. La surface qu'on leur donne ordinairement est de 29 millimètres de diamètre dans les machines de 10 à 12 chevaux, et on en place deux sur chaque chaudière. La surface de chacune est de 8 centimètres carrés environ. Pour se soulever dès que la vapeur atteindra 5 atmosphères, par exemple, les soupapes doivent donc être chargées d'un poids égal à 5 kil. par centimètre carré, ou 40 kil. en tout. Mais comme elles soutiennent déjà le poids de l'atmosphère, égal à 1 kil. par centimètre carré, ou 8 kil. sur toute la soupape, il ne restera plus que 32 kil. à ajouter.

Il serait cependant difficile de placer sur la soupape un poids aussi considérable, et de pouvoir l'enlever, ou le changer facilement au besoin. Pour éluder cette difficulté, au lieu de presser la soupape directement par le poids, on la fait presser par un levier *a* (pl. 3, fig. 2), sur lequel on fixe le poids *P*, qui n'a pas alors besoin d'être aussi considérable. Il résulte de cette disposition qu'un poids de 4 à 5 kil. peut produire sur la soupape un effort de 32 kil., pourvu qu'il soit placé au bout d'un levier assez long; et pour cela il suffit que le bras de levier du poids, soit sept fois plus grand que le bras de levier sur lequel agit la soupape, c'est-à-dire la pression intérieure de la vapeur. Toutes les fois que la vapeur acquerra une tension supérieure à 5 atmosphères, ou en omettant le poids de l'air, supérieure à 4 atmosphères, cette vapeur, devenant plus forte que le poids placé sur la soupape qui lui résiste, le soulèvera et s'échappera au dehors, jusqu'à ce qu'ayant perdu l'excès de sa force, elle fasse équilibre au poids de 5 kil., dont la soupape est chargée, sans pouvoir le soulever; alors l'écoulement cesse.

Voici la règle à suivre pour calculer la charge d'une soupape. Supposons que le poids *P* pèse 4 kil. : *b* est le point fixe autour duquel tourne le levier qui transmet à la soupape *S* l'action du poids.

Le bras de levier sur lequel agit la pression qui pousse la soupape du dedans au dehors est *bd*. Dans l'exemple actuel, il a 3 centimètres.

Le bras de levier sur lequel agit le poids qui presse la vapeur du dehors au dedans est *bc*. Il a 28 centimètres.

On fera la proportion suivante, pour savoir l'effort réel que le poids *P*, agissant sur son bras de levier, exerce directement sur la soupape.

Le petit bras de levier *db*, est au grand bras *bc*, comme le petit poids *P* est au grand effort ou poids *x* qu'il exerce sous la soupape.

$$\text{ou } db : bc = P : x$$

$$3 : 28 :: 4 : x, x = \frac{28 \times 4}{3} = 37.$$

En multipliant 28 par 4 et divisant le produit par 3, on obtient 37 kil. pour l'effort fait par le poids sur la soupape. Or, celle-ci a 8 centimètres carrés : en divisant 37 kil. par 8, on aura 4 kil. $\frac{1}{2}$ environ de pression, ou 4 $\frac{1}{2}$ atmosphères sur chaque centimètre carré; ce qui, en y ajoutant le poids de l'air qui presse toujours dessus, fait 5 $\frac{1}{2}$ atmosphères de pression pour la vapeur qui soulèvera cette soupape.

Si l'on voulait, au contraire, savoir à quelle distance du point fixe il faut placer le poids *P*, pour qu'il soit soulevé à 3 atmosphères de pression, sans compter celle de l'air, il faudrait faire le calcul suivant. La pression de la vapeur à 3 atmosphères, sur une soupape de 8 centimètres carrés, est de 8, multipliant 3 kil., ou 24 kil. : le petit levier *db* est toujours de 3 centimètres : le poids *P* de 4 kil. On dirait donc : le petit poids 4 kil. est au grand effort 24 kil., comme le petit bras 3 centimètres est au grand bras *x*. Multipliant 24 par 3 = 72, et en le divisant par 4, on trouverait que le grand levier *db* est de 18 centimètres pour une pression de 3 atmosphères.

Dans le calcul des poids dont les soupapes doivent être chargées, l'administration prend pour le diamètre de ces soupapes, leur ouverture, plus une fois la largeur de la zone de contact, pour compenser l'effet du soulèvement de la soupape, qui fait agir la vapeur sous sa surface entière.

NOTE 7 (310, planche 3, fig. 9).

Pression du dehors au dedans sur les soupapes à siège plat.

Les observations recueillies par M. Clément et les expériences qu'il y a ajoutées, prouvent que l'écoulement de la vapeur par des soupapes de la forme usitée dans les machines à vapeur (*pl. 3, fig. 9*) produit, sous la soupape même qui est soulevée, une inégalité de pression, en vertu de laquelle l'air, qui presse sur l'autre surface, repousse la soupape sur l'orifice

même d'où s'écoule la vapeur. Mais cette différence de pression n'est pas la même sur toute la surface de la soupape. Dans toute la partie *ab*, qui couvre l'ouverture percée dans la chaudière, la pression intérieure de la vapeur est beaucoup plus forte que la pression extérieure : il ne s'y produit pas de vide. Cet effet n'a lieu que sur l'anneau *cd* de contact de la soupape, et encore il est à son minimum en *c*, et va en augmentant à mesure que l'on s'éloigne de l'orifice *ab*, comme l'indiquent les flèches de différentes longueurs; de sorte que, sur cet anneau circulaire, il y a pression du dehors au dedans, tandis que dans toute la surface *ab* de l'orifice, il y a pression de dedans au dehors.

Or, dans les soupapes ordinaires des machines de Woolf de 10 à 12 chevaux, l'orifice a 29 ou 30 millimètres de diamètre, ou environ 900 millimètres carrés, et l'anneau a 7 à 8 millimètres de largeur sur une circonférence moyenne de 110 millimètres, ou 800 millimètres carrés environ. Mais, sur l'orifice, la pression véritable de la vapeur est de 2 à 3 atmosphères, et la différence moyenne de pression de l'air qui, en agissant sur l'anneau, tend à produire le mouvement du dehors au dedans, est inférieure à 1 atmosphère; de sorte qu'en somme, la pression du dedans au dehors, qui soulève les soupapes, est quatre à cinq fois plus forte que celle du dehors au dedans, qui tend à les tenir fermées; et en effet elles fonctionnent parfaitement, et la vapeur peut, au besoin, s'écouler avec la plus grande facilité. C'est aussi l'opinion de M. Pérelet (t. 2, p. 80).

NOTE 8 (696).

Poids de la vapeur d'eau.

Il sera, dans beaucoup de cas, utile de savoir le poids d'un volume donné de vapeur d'eau. Disons ici qu'un litre ou 1 kilog. d'eau donne 1696 litres de vapeur sous la pression de 0 m. 76 de mercure ou de l'atmosphère, et à la température de 100° centigrades, ce qui correspond à une pression de 1 k. 033 par centimètre carré: donc 1696 litres de vapeur d'eau à 100° pesant 1 k. d'eau, l'on conclut facilement que 1 litre pèsera 0 gr. 5894, et que 1 m. cube pèsera 0 k. 5894.

Pour savoir le poids de 1 litre de vapeur, à toute autre pression, il faut se rappeler qu'en vertu de la loi de Mariotte sur la compression des gaz, le volume de ce gaz est en raison inverse de la pression qu'on exerce dessus: de manière que, sous une pression double, le volume est deux fois moindre, et par conséquent le poids sous un même volume est double. Il s'ensuit que le poids de la vapeur est en raison de la pression à laquelle elle est soumise; ainsi 1 mètre cube de vapeur d'eau à 3 1/2 atmosphères, ou avec une pression de 2 m. 60 de mercure, ou de 3 k. 615 par centimètre carré, ou bien encore à 140° 6 du thermomètre, pèsera 0 k. 5894 $\times$ 3,5, = 2 k. 063.

NOTE 9 (470-592)

De la quantité de chaleur que renferme la vapeur.

On a vu aussi que la quantité de chaleur nécessaire pour vaporiser 1 k. d'eau était capable d'élever de 0° à 1000 6 k. 50, ou d'élever d'un degré 650 k. d'eau ; ainsi 1 k. de vapeur à 100°, contient 650° de chaleur. Ce que nous nommerons désormais avec M. Clément 650 calories. Ces résultats suffisent pour calculer la quantité d'eau nécessaire à la condensation de la vapeur dans une machine. On calcule la section du petit cylindre si la machine est à deux cylindres, comme nous l'avons déjà dit, en multipliant le carré du diamètre par 0,785, et multipliant ensuite cette section par la course du petit piston, afin d'obtenir le volume de vapeur qui est employé à chaque coup de piston. On calcule ensuite le poids de la vapeur, comme nous avons dit plus haut (note 8), et multipliant enfin le poids de la vapeur en kilogrammes par 650, on obtient à peu près le nombre de calories contenues dans la vapeur employée à chaque coup de piston.

Si l'eau du puits arrive dans le condenseur à 12° de température, et qu'on ne veuille pas condenser à plus de 40, il est clair que chaque litre d'eau n'aura que 28° de chaleur à gagner. On divise alors le nombre de calories obtenues tout à l'heure par 28, et le quotient est le nombre de kilogrammes d'eau froide nécessaire pour condenser à 40° toute la vapeur fournie par un coup de piston ; on multiplie enfin ce poids d'eau nécessaire pour un coup de piston, par le nombre de coups que la machine donne en une heure, et l'on obtient la quantité d'eau que la pompe de puits doit fournir au minimum par heure.

Il y a dans cette méthode de calcul deux légères erreurs, mais qui se compensent à peu près, et qui n'ont aucun inconvénient ; nous les indiquerons pour qu'on ne les ignore pas. La première est due à ce que la vapeur à 3 1/2 atmosphères, par exemple, possède une température de 140°, et contient, peut-être plus de chaleur que la vapeur à 177°, par conséquent plus de 650° calories, ce qui tend à rendre nécessaire une quantité d'eau de condensation un peu plus grande ; mais d'un autre côté, nous avons compté la quantité d'eau de condensation, de manière à absorber toute la chaleur contenue dans la vapeur dont nous parlons ; et il faut observer que la vapeur condensée donnera de l'eau qui s'écoulera à 40° avec l'eau de condensation, et emportera, par conséquent, 28° de chaleur, ce qui diminue légèrement la quantité d'eau de condensation nécessaire.

Nous avons dit (473) que pour suppléer à l'insuffisance de l'eau de condensation, on la refroidissait quelquefois par de longues circulations. Un appareil de ce genre est établi à la filature de lin de Boulogne, pour le service d'une

machine de 60 chevaux à 2 cylindres ; l'eau chauffée à 40° est à la sortie du coodeuseur, jetée sur une table en bois, garnie d'une cuvette de zinc, de 1 mètre à peu près de largeur ; elle y circule sur environ 200 mètres de longueur et avec une épaisseur de 3 à 4 centimètres ; puis, refroidie par son contact multiplié avec l'air, et par l'évaporation qui en est la suite, elle va tomber dans trois grands bassins de 300 à 400 mètres cubes chacun, qui communiquent ensemble par le fonds.

De là enfin elle tombe dans le puits, d'où la machine l'extrait pour son service, mêlée à la portion d'eau que donne journellement ce puits, et qui sert de renouvellement. Nous n'avons pas sur les dimensions exactes et les données de cet appareil les chiffres nécessaires pour en calculer les bases, et en tirer des règles pratiques.

NOTE 10 (596).

Table des longueurs du pendule qui donne un nombre déterminé de coups de pistons en une minute.

Nombre de coups de piston de la machine.	Nombre d'oscillations de pendule.	Longueur do pendule.
31	62	m. 0,930
30	60	0,994
29	58	1,063
28	56	1,141
27	54	1,227
26	52	1,323
25	50	1,431
24	48	1,552
23	46	1,691
22	44	1,848
21	42	2,028
20	40	2,236
19	38	2,477
18	36	2,760
17	34	3,094
16	32	3,493
15	30	3,974

Les longueurs, du pendule, à Paris, que nous donnons dans ce tableau, fournissent le nombre d'oscillations de la machine à vapeur, c'est-à-dire le double du nombre des coups de piston. Comme on ne peut pas ordinairement construire ce métronome avec plus de 2 mètres de longueur, on se contente de le régler pour donner les vitesses de 20 à 30 coups de piston. Ce sont les vitesses les plus usitées, puisqu'elles comprennent les machines à vapeur depuis 8 jusqu'à 30 chevaux. Au-dessus et au-dessous des nombres de coups de piston correspondants à ces longueurs, on en prend le double ou la moitié, et il est toujours facile d'arriver avec certitude à régler sans peine la vitesse d'une machine à vapeur, de la manière la plus certaine.

On pourrait employer au même usage le métronome de Maelzel, bien connu aujourd'hui de toutes les personnes qui s'occupent de musique.

NOTE 11 (316).

Composition des rondelles fusibles.

Nous donnons ici une table des diverses compositions de rondelles, graduées par atmosphères et par demi-atmosphères. Cette table est extraite des *Essais chimiques* de Parkes et Martin.

On remarquera qu'il est bien difficile d'apprécier exactement le degré de fusibilité de ces alliages; mais les circonstances et les dispositions de chaque chaudière, et par conséquent le degré réel de chaleur auquel sont exposées les rondelles, varient encore dans de plus grandes limites que leur fusibilité. Mieux vaut donc se tenir un peu au-dessus de ce degré, afin de ne pas être inutilement arrêté par une fusion trop prompte; d'autant plus que l'alliage fusible dont elles sont composées, se ramellit avant d'entrer en fusion, et cède en même temps à la pression intérieure de la vapeur.

Le procédé employé pour vérifier le degré de fusion de chacun de ces alliages, consiste à les mélanger avec soin, parce qu'ils se séparaient par le repos, puis, en verser 150 grammes environ dans un petit vase, à y plonger un thermomètre gradué convenablement. Le mercure de ce thermomètre baisse à mesure que l'alliage se refroidit; et on note, comme le degré de fusion, le point où il cesse de baisser, où il reste quelque temps stationnaire, et où il remonte même d'un degré au moment de se congeler.

Nombre d'atmosphères.	Température correspon- dante.	Température réelle de fusion.	COMPOSITION DE L'ALLIAGE.		
			Bismuth.	Plomb.	Etain.
atmos.	degrés.	degrés.			
1	100	100	8	5	3
1 1/2	112,2	113,3	8	8	4
2	121,4	123,3	8	8	8
2 1/2	128,8	130	8	10	8
3	135,1	132,4	8	12	8
3 1/2	140,6	143,3	8	16	14
4	145,4	145,4	8	16	12
5	153,8	153,8	8	22	24
6	160,2	160,2	8	32	36
7	166,5	166,5	8	32	28
8	172	172	8	30	24

NOTE 12 (320).

De la loi de Mariotte et de l'échelle de graduation des manomètres.

La graduation des manomètres repose sur la loi de compression des gaz, en vertu de laquelle les volumes d'un gaz sont en raison inverse des poids qui les compriment, de sorte que si, sous la charge d'une atmosphère, le volume est égal à 1 litre ou à une colonne de 1 mètre de hauteur, sous la charge de 2 atmosphères, il sera réduit à 1/2 litre, ou la colonne à 1/2 mètre. En un mot, pour connaître le volume que le gaz occupera sous une pression quelconque, il faut multiplier le volume primitif par la pression primitive qu'il supportait, et le diviser par la nouvelle pression.

Si le volume était d'abord 0,30 mètre cube, et la pression 0 m. 76, le volume sous une pression triple de 2 m. 28, sera :

$$\frac{0 \text{ m.cc. } 30 \times 0,76}{2,28} = 0 \text{ m.cc. } 10; \text{ ou } 1/3 \text{ du volume primitif.}$$

Ainsi la longueur du volume d'air, qui occupe 100 centimètres ou 100 parties dans le manomètre *ab* (*pl. 3, fig. 10*) à une atmosphère de pression, prendra successivement sous les pressions suivantes les volumes suivants :

Pour 2 atmosphères, $\frac{100 \times 1 \text{ at.}}{2 \text{ at.}} = 50$ parties. Comme on le voit, le manomètre est coupé en deux, on le volume d'air réduit à moitié *ad* sous une pression de 2 atmosphères, en y comprenant la pression de l'air, c'est-à-dire de 1 atmosphère au-dessus de celle de l'air.

Pour 3 atmosphères, $\frac{100 \times 1}{3} = 33$ parties environ ; = *bm*.

Pour 1 1/2 atmosphère ou 1 5 at. $\frac{100 \times 1}{1,5} = 67$ parties.

et ainsi de suite. C'est ainsi qu'a été construite l'échelle de la fig. 10.

On trace en effet un angle quelconque *aeb*, on le coupe par des lignes parallèles *ab cd ef*; on en divise une *gh*, par exemple, en 100 parties; et faisant, pour chaque pression, de 1, 1, 1, 1, 2, 1, 3, 2, 3, etc., atmosphères, le calcul donné plus haut, on se fait une table des volumes auxquels se réduit successivement, sous ces diverses pressions, le volume d'air 100, ou des longueurs auxquelles la colonne d'air *gh*, divisée en 100 parties, est réduite.

Ainsi, sous une pression de 1 atmosphère en sus du poids de l'air, ou, autrement dit, 2 atmosphères, le volume 100 est réduit à 50 ou moitié; on divise la ligne *gh* en deux par la ligne *ed*, et tous les manomètres, dont la longueur sera égale à *ab cd* ou *gh*, seront partagés en deux par *ed* et marqueront 1 atmosphère de pression en sus du poids de l'air, toutes les fois que le mercure y montera jusqu'en *ed*.

Ainsi, avec une table qui forme la ligne *gh*, divisée en 100 parties et la correspondance avec les pressions indiquées sur la ligne *ab*, il sera facile de graduer exactement tous les manomètres, puisqu'on peut toujours supposer leur longueur divisée en 100 parties, et y reporter le nombre de divisions indiquées par notre échelle pour chaque pression.

NOTE 13 (308-312).

INSTRUCTION (1)

Sur les règles à suivre pour déterminer les diamètres des soupapes de sûreté, et ceux des rondelles métalliques fusibles des chaudières à vapeur, en exécution de l'ordonnance royale du 29 octobre 1823.

1^{re} règle pour les soupapes de sûreté.

L'article 4 de l'ordonnance royale du 29 octobre 1823 prescrit d'adapter à chaque chaudière deux soupapes de sûreté, lesquelles doivent être construites de telle sorte que le jeu d'une seule suffise au dégagement de la vapeur, dans

(1) Officielle.

le cas où elle acquerrait une trop grande tension. Suivant le même article, le diamètre de chaque soupape doit être réglé tant d'après la grandeur de la chaudière, ou plus exactement d'après sa surface de chauffe, que d'après le timbre qui doit être apposé sur la chaudière, et qui indique, en chiffres, la pression pour laquelle elle a été construite, la pression de l'atmosphère étant prise pour l'unité.

Ainsi donc, à une surface de chauffe et à une pression données, doit répondre une soupape d'un diamètre déterminé, ce qui suppose que, pour un même diamètre de soupape, la surface par laquelle la vapeur pourra sortir sera toujours la même; mais on sait que dans la pratique, cette surface varie suivant la disposition particulière de la soupape.

Les soupapes communément usitées ne peuvent que se soulever et s'entr'ouvrir; lorsqu'elles jouent, leurs orifices restent toujours en partie obstrués, en sorte qu'elles ne donnent pas à la vapeur une issue complètement libre. Pour cette raison, elles doivent être, toutes choses égales d'ailleurs, plus grandes que des soupapes qui s'ouvriraient entièrement, c'est-à-dire qui, en s'ouvrant, laisseraient des orifices entièrement libres, et n'opposeraient aucun obstacle à la sortie de la vapeur.

Les ingénieurs et les mécaniciens, qui sont exercés aux calculs, trouveront facilement les diamètres de ces dernières soupapes en se servant de la formule suivante :

$$d = 1,299837 \sqrt{\frac{c}{n - 0,4123684}}$$

Où ce qui sera bien suffisant pour la pratique.

$$d = 1,3 \sqrt{\frac{c}{n - 0,412}} \dots (A)$$

Dans cette formule, d représente le diamètre cherché, qu'on obtiendra exprimé en centimètres et parties décimales du centimètre; c , la surface de chauffe de la chaudière, exprimée en mètres carrés; n , le numéro du timbre de la chaudière; les quantités numériques dépendent des résultats des expériences citées ci-dessus; elles ont été déterminées de telle sorte que chaque soupape puisse seule suffire au dégagement de la vapeur.

Les diamètres calculés au moyen de cette formule conviennent pour les soupapes qui s'ouvriraient entièrement; mais, comme on l'a dit, les soupapes qui ne font que se soulever et s'entr'ouvrir, doivent être plus grandes, pour qu'elles puissent présenter à la vapeur des surfaces de sortie suffisantes; on a reconnu qu'il fallait donner à ces soupapes des diamètres au moins doubles

de ceux des premières. Pour avoir immédiatement ces diamètres, on emploiera la formule qui suit :

$$d = 2,6 \sqrt{\frac{c}{n - 0,412}} \dots (B)$$

C'est avec cette formule que la table qui est jointe à la présente instruction a été calculée.

Cette table donne immédiatement les diamètres des soupapes dont on fait habituellement usage, c'est-à-dire celles qui ne font que s'entr'ouvrir, plus ou moins, lorsqu'il y a excès de tension de la vapeur dans la chaudière.

Dans le cas où une soupape serait construite de manière à s'ouvrir entièrement, et à laisser, par conséquent, l'orifice de sortie parfaitement libre, alors, pour avoir le diamètre de cette soupape, on ne prendrait, dans la table, que la moitié du nombre qui se rapporterait à la surface de chauffe de la chaudière, et au numéro de son timbre.

La table exprime d'ailleurs les diamètres de demi en demi-atmosphère, à commencer de une et demie jusques et y compris six atmosphères; et cela pour des surfaces de chauffe de 1 à 30 mètres carrés inclusivement.

Pour en faire usage, il sera nécessaire de déterminer préalablement, en mètres carrés, la surface de la chaudière, c'est-à-dire toute la surface qui reçoit l'action du feu, en ayant égard à la forme de la chaudière, à sa disposition, à celle des tubes bouilleurs et des conduits dans lesquels circule la flamme du foyer, et on prendra cette surface plutôt plus grande que plus petite.

Supposez, par exemple, une chaudière ayant une surface de chauffe de 20 mètres carrés, et qui serait timbrée pour quatre atmosphères; on cherchera d'abord dans la première colonne de la table, portant en tête surface de chauffe, le nombre 20; puis dans la colonne portant en tête quatre atmosphères, on s'arrêtera au nombre de 6 c. 138, qui répond à ce nombre 20 : ce nombre exprimera en centimètres, et parties décimales du centimètre, le diamètre que devra avoir chaque soupape de sûreté.

Cette table ne s'étend pas au-dessus de six atmosphères; il est nécessaire, pour les pressions plus élevées, de donner aux soupapes de sûreté, à égalité de surface de chauffe, des diamètres aussi grands que pour la pression de six atmosphères. Si donc le numéro de marque d'une chaudière, indique une pression qui excède la limite de la table, on procédera comme pour le timbre de six atmosphères, et on cherchera, dans la dernière colonne de la table, le nombre correspondant à celui qui, dans la première colonne, exprimera la surface de chauffe de cette chaudière.

On a jugé inutile d'étendre la table à des surfaces de chauffe ayant plus de

30 mètres carrés, parce qu'il est préférable et même prudent d'augmenter le nombre des chaudières, plutôt que d'en faire qui aient de trop grandes dimensions, ensuite parce qu'on pourra facilement, pour les surfaces de chauffe qui surpasseraient 30 mètres carrés, calculer les diamètres à donner aux soupapes, en se servant des formules qui ont été précédemment données, savoir : de la formule *A* dans le cas où ces soupapes seraient disposées pour s'ouvrir entièrement, ou de la formule *B*, si elles devaient seulement se soulever et s'entr'ouvrir, comme toutes celles qui sont habituellement en usage.

Lorsqu'un fabricant, parmi les soupapes dont il fait ordinairement usage, n'en trouvera pas qui auront précisément le diamètre qui répondra à la surface de chauffe, et au numéro de marque d'une certaine chaudière, il pourra y adapter une soupape d'un diamètre différent, pourvu que ce diamètre soit toujours plus grand que celui qui est indiqué par la table.

Les soupapes de sûreté ayant les diamètres que donne soit la table, soit la formule, conviendront non-seulement aux cas ordinaires du chauffage, mais encore à la circonstance d'une quantité surabondante de vapeur, qu'occasionnerait un feu poussé avec une trop grande activité. Mais il est bien essentiel de ne pas confondre cette circonstance avec celle d'une formation subite d'une grande quantité de vapeur, qui serait due à une cause accidentelle; car celle-ci peut, suivant l'opinion de plusieurs praticiens éclairés, donner lieu à des explosions contre lesquelles les soupapes de sûreté et les rondelles métalliques fusibles seraient des moyens impuissants.

Pour prévenir ces explosions dangereuses, on ne saurait veiller trop soigneusement à tout ce qui a rapport à l'alimentation des chaudières, et à l'observation des mesures de précaution indiquées dans les instructions des 19 mars 1824, 27 mai et 3 juin 1830.

En déterminant les dimensions des soupapes, ainsi qu'il vient d'être prescrit, celles dont on fait habituellement usage auront généralement des diamètres plus grands que ceux qu'on leur donne maintenant; ce qui sera très-avantageux, puisque, dans beaucoup de cas, ces diamètres sont réellement trop petits. On obtiendra cet avantage sans néanmoins être entraîné dans l'inconvénient d'augmenter les dimensions qui ont été assignées jusqu'à présent aux rondelles métalliques fusibles; on pourra, au contraire, diminuer ces dimensions en les réglant ainsi qu'il va être dit, de sorte qu'à l'avenir l'usage des rondelles sera moins gênant et moins coûteux.

§ 2. Règles pour les rondelles métalliques fusibles.

L'article 5 de l'ordonnance royale du 29 octobre 1823 porte qu'en outre des soupapes de sûreté, il sera adapté à chaque chaudière deux rondelles métalliques fusibles, aux degrés déterminés dans ce même article.

La première de ces rondelles, celle qui est la plus fusible, doit avoir un

diamètre au moins égal à celui d'une des soupapes de sûreté, et la seconde rondelle, celle qui est la moins fusible, un diamètre double.

Mais la soupape dont il s'agit ici, est celle qui s'ouvre entièrement. Ainsi, la moitié de chaque nombre que donne la table, exprimera en centimètres et parties décimales du centimètre, le diamètre de la première rondelle, et ce même nombre, pris en entier, exprimera celui de la seconde rondelle.

Si, par exemple la chaudière a une surface de chauffe de 10 mètres carrés, et si le numéro de son timbre est quatre atmosphères et demi, on trouvera dans la table pour ce numéro et cette surface de chauffe, 4 c. 066. Ce nombre sera le diamètre de la seconde rondelle, c'est-à-dire celle qui est la moins fusible; et en la divisant par 2 on aura 2,033 pour le diamètre de la première rondelle celle qui est la plus fusible.

Quand une chaudière sera frappée d'un timbre indiquant une pression plus grande que six atmosphères, les rondelles fusibles devront toujours avoir le degré de fusibilité voulu par le numéro du timbre; mais, dans ce cas, les dimensions de ces rondelles seront comme celles des soupapes de sûreté, réglées de la même manière que si la chaudière portait seulement le timbre de six atmosphères.

Lorsqu'il sera nécessaire de maintenir extérieurement avec une grille les rondelles fusibles, pour les empêcher de bomber lorsqu'elles sont en activité de service, il faudra augmenter leur diamètre de manière que la surface libre, ou, en d'autres termes, que la surface non recouverte de chaque rondelle, soit, pour la première, égale à la surface d'une soupape qui, s'ouvrant entièrement, conviendrait à la chaudière, et pour la seconde rondelle quadruple de la surface de la même soupape.

Paris, le 25 juillet 1852.

Surface de chauffe des chaudières.	NUMÉROS DES TIMBRES									
	indiquant les tensions de la vapeur									
	sous la pression de différentes atmosphères.									
	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	4 1/2	5	5 1/2	6
m. q.	atmos.	atmos.	atmos.	atmos.	atmos.	atmos.	atmos.	atmos.	atmos.	atmos.
cent.	cent.	cent.	cent.	cent.	cent.	cent.	cent.	cent.	cent.	cent.
1	2.493	2.063	1.799	1.616	1.479	1.372	1.286	1.214	1.152	1.100
2	3.325	2.918	2.544	2.288	2.092	1.941	1.818	1.716	1.630	1.553
3	4.317	3.775	3.416	2.709	2.565	2.377	2.227	2.102	1.996	1.905
4	4.985	4.436	3.898	3.252	2.959	2.745	2.572	2.427	2.305	2.200
5	5.574	4.613	4.025	3.614	3.308	3.069	2.875	2.714	2.578	2.459
6	6.106	5.064	4.407	3.958	3.624	3.362	3.149	2.975	2.825	2.694
7	6.593	5.458	4.790	4.276	3.914	3.631	3.402	3.211	3.045	2.910
8	7.050	5.855	5.089	4.571	4.185	3.882	3.657	3.455	3.260	3.111
9	7.478	6.189	5.398	4.848	4.458	4.117	3.857	3.641	3.458	3.299
10	7.882	6.524	5.690	5.110	4.679	4.340	4.066	3.838	3.645	3.478
11	8.267	6.845	5.967	5.560	4.907	4.552	4.265	4.025	3.825	3.648
12	8.635	7.147	6.253	5.898	5.125	4.754	4.454	4.204	3.995	3.810
13	8.987	7.459	6.487	6.027	5.354	4.949	4.656	4.376	4.156	3.965
14	9.325	7.720	6.752	6.047	5.556	5.158	4.811	4.541	4.312	4.124
15	9.654	7.990	6.968	6.259	5.750	5.316	4.980	4.710	4.464	4.259
16	9.970	8.253	7.197	6.461	5.918	5.490	5.145	4.854	4.610	4.399
17	10.277	8.506	7.418	6.665	6.100	5.659	5.302	5.004	4.752	4.534
18	10.575	8.753	7.633	6.811	6.277	5.825	5.455	5.149	4.890	4.666
19	10.865	8.995	7.842	7.044	6.449	5.982	5.605	5.290	5.024	4.794
20	11.147	9.227	8.046	7.227	6.616	6.158	5.750	5.428	5.154	4.918
21	11.425	9.454	8.245	7.389	6.780	6.299	5.892	5.561	5.282	5.040
22	11.691	9.677	8.459	7.580	6.959	6.457	6.051	5.692	5.406	5.158
23	11.954	9.894	8.629	7.750	7.083	6.582	6.167	5.820	5.527	5.274
24	12.211	10.107	8.814	7.917	7.248	6.725	6.299	5.845	5.646	5.388
25	12.463	10.316	8.996	8.080	7.397	6.862	6.409	6.062	5.765	5.499
26	12.710	10.520	9.174	8.240	7.511	6.998	6.556	6.188	5.877	5.608
27	12.952	10.720	9.349	8.397	7.776	7.152	6.681	6.306	5.989	5.715
28	13.190	10.917	9.520	8.551	7.828	7.262	6.804	6.422	6.099	5.819
29	13.425	11.110	9.689	8.705	7.967	7.391	6.924	6.535	6.207	5.922
30	13.655	11.300	9.855	8.851	8.103	7.517	7.045	6.648	6.315	6.024

NOTE 14 (36).

Ordonnance du 12 juillet 1828.

Elle détermine la formule d'après laquelle doit être calculée l'épaisseur des chaudières de tôle et de cuivre, qu'elle assimile complètement.

$$e = \frac{36 \times r (N-1) + 3000}{10,000}$$

E, épaisseur de chaudière.

N, pression maximum dans la chaudière, déterminée par le numéro du timbre qui y doit être apposé.

Les épaisseurs données par cette formule sont huit fois et demie plus grandes que celles données par la formule rigoureuse dont M. Navier a vérifié complètement l'exactitude.

Voici un tableau des épaisseurs calculées jusqu'à 1 mètre de diamètre de chaudière et de 2 à 8 atmosphères de pression.

Tableau des épaisseurs à donner aux chaudières en tôle et en cuivre pour les machines à vapeur.

Diamètre des chaudières.	2 atmosphères.	3 atmosphères.	4 atmosphères.	5 atmosphères.	6 atmosphères.	7 atmosphères.	8 atmosphères.
centimèt.	millim.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.	m.
50	3.90	4.80	5.70	6.60	7.50	8.40	9.30
55	3.99	4.98	5.97	6.96	7.95	8.93	9.93
60	4.08	5.16	6.24	7.32	8.40	9.48	10.56
65	4.17	5.34	6.51	7.68	8.85	10.02	11.19
70	4.26	5.52	6.78	8.04	9.30	10.56	11.82
75	4.35	5.70	7.05	8.40	9.75	11.10	12.45
80	4.44	5.88	7.32	8.76	10.30	11.64	13.08
85	4.53	6.06	7.59	9.12	10.65	12.18	13.71
90	4.62	6.24	7.86	9.48	11.10	12.72	14.34
95	4.71	6.42	8.13	9.84	11.55	13.26	14.97
100	4.80	6.60	8.40	10.20	12.00	13.80	15.60

NOTE 15 (676-695).

Des demandes d'autorisation pour l'établissement des machines à vapeur.

Lorsqu'un manufacturier veut monter une machine à vapeur, il doit adresser au préfet ou au sous-préfet, suivant la localité, une demande en autorisation, qui doit être faite sur timbre, et dont la signature doit être légalisée par le maire de la commune.

Cette demande indiquera exactement :

La force de la machine ;

Son système, haute ou basse pression, avec ou sans condensation ;

Le nom du constructeur ;

Le nombre des générateurs ;

Le lieu où elle doit être montée ;

Enfin l'engagement de se soumettre dans l'établissement et l'emploi de cette machine, à toutes les conditions déterminées par les ordonnances et instructions administratives ; on joindra à cette demande un plan des bâtiments qui contiennent la machine et les chaudières, et des ateliers qui leur sont contigus, et un petit plan relevé au cadastre de la localité, c'est-à-dire des rapports de l'établissement où la machine doit être montée, avec les habitations ou les établissements les plus rapprochés. Le préfet renvoie cette demande au maire de la commune qui la fait afficher, ouvre une enquête *de commodo*, et en retourne le résultat au préfet, qui envoie alors sur place l'ingénieur des mines ou l'ingénieur des ponts-et-chaussées, chargé du service des machines à vapeur du département, pour visiter les lieux, s'assurer si toutes les prescriptions de la loi sont fidèlement suivies, vérifier les timbres des chaudières et cylindres, les poids et dimensions des soupapes et des rondelles, et lui faire rapport du tout. Sur ce rapport, le préfet accorde l'autorisation, en imposant l'exécution des conditions qui n'auraient pas été observées ; et il adresse cette autorisation aux manufacturiers.

Les principales conditions sont :

1° L'essai des cylindres et de la chaudière, constaté par la plaque et le poinçon que l'administration y appose ;

2° L'épaisseur légale des générateurs ;

3° Le placement des chaudières dans un local dont le cube soit égal à 27 fois le cube des chaudières, et qui soit séparé de tout atelier par un mur de 1 mètre d'épaisseur, ou par deux murs dont la somme d'épaisseur soit égale à 1 mètre et sans ouverture ;

4° L'ouverture officielle ou réglée des soupapes et des rondelles fusibles et le degré de fusibilité de celles-ci ;

5° Une des soupapes de sûreté placée sous grille avec un cadenas ;

6° Les poids des deux soupapes et la longueur de leurs leviers, réglés de manière à ne pouvoir pas dépasser la pression pour laquelle les chaudières et les cylindres ont été essayés ; en un mot, toutes les mesures prescrites par les ordonnances et instructions qui suivent (page 384).

NOTE 16. (73, 107)

Rallentissement du courant d'air à travers une petite grille.

Nous avons observé, que quand le tirage d'un fourneau est gêné par les dispositions des carneaux, ou de la cheminée, l'élargissement de la grille favorise ce tirage. Ce qui se conçoit. Mais le combustible est toujours mieux utilisé, en réduisant la grille, et rendant au tirage toute son activité.

LÉGISLATION DES MACHINES A VAPEUR.

PIÈCES OFFICIELLES.

• ORDONNANCE DU ROI

Portant règlement sur les machines à feu à haute pression.

Au château des Tuileries, le 29 octobre 1823.

LOUIS, par la grâce de Dieu, roi de France et de Navarre, à tous ceux qui ces présentes verront, salut.

Sur le rapport de notre Ministre secrétaire d'état au département de l'intérieur;

Notre conseil d'état entendu,

Nous avons ordonné et ordonnons ce qui suit:

Art. 1^{er} Les machines à feu à haute pression, ou celles dans lesquelles la force élastique de la vapeur fait équilibre à plus de deux atmosphères, lors même qu'elles brûleraient complètement leur fumée, ne pourront être établies qu'en vertu d'une autorisation obtenue conformément au décret du 15 octobre 1810, pour les établissements de deuxième classe.

Elles seront, en outre, soumises aux conditions de sûreté suivantes :

Art. 2. Lors de la demande en autorisation, les chefs d'établissement seront tenus de déclarer à quel degré de pression habituelle leurs machines devront agir.

Ils ne pourront dépasser le degré de pression déclaré par eux.

La pression sera évaluée en unités d'atmosphères, ou en kilogrammes par centimètre carré de surface exposé à la pression de la vapeur.

Art. 3. Les chaudières des machines à haute pression, ne pourront être mises dans le commerce, ni employées dans un établissement, sans que, préalablement, leur force ait été soumise à l'épreuve de la presse hydraulique.

Toute chaudière devra subir une pression d'épreuve cinq fois plus forte que celle qu'elle est appelée à supporter, dans l'exercice habituel de la machine à laquelle elle est destinée.

Après l'épreuve, et pour en constater le résultat, chaque chaudière sera frappée d'une marque indiquant, en chiffres, le degré de pression pour lequel elle aura été construite.

Les chefs d'établissement ne pourront faire emploi d'une chaudière, qu'autant qu'elle sera marquée d'un chiffre exprimant au moins une force égale au degré de pression annoncé dans leur déclaration.

Art. 4. Il sera adapté deux soupapes, une à chaque extrémité de la partie supérieure de chaque chaudière. Leur dimension et leur charge seront égales, et devront être réglées tant sur la grandeur de la chaudière, que sur le degré de pression porté sur son numéro de marque, de telle sorte toutefois que le jeu d'une seule des soupapes suffise au dégagement de la vapeur, dans le cas où elle acquerrait une trop grande tension.

La première soupape restera à la disposition de l'ouvrier qui dirige le chauffage ou le jeu de la machine.

La seconde soupape devra être hors de son atteinte, et recouverte d'une grille dont la clé restera à la disposition du chef de l'établissement.

Art. 5. Il sera en outre adapté à la partie supérieure de chaque chaudière deux rondelles métalliques, fusibles aux degrés ci-après déterminés.

La première, d'un diamètre au moins égal à celui d'une des soupapes, sera faite en métal dont l'alliage soit de nature à se fondre, ou à se ramollir suffisamment, pour s'ouvrir à un degré de chaleur supérieur de dix degrés centigrades au degré de chaleur représenté par la marque que doit porter la chaudière.

La seconde, d'un diamètre double de celui ci-dessus, sera placée près de la soupape de sûreté, et enfermée sous la même grille. Elle sera faite en métal dont l'alliage soit de nature à se fondre ou à se ramollir suffisamment pour s'ouvrir à un degré de chaleur supérieur de vingt degrés centigrades à celui que représente la marque de la chaudière.

Ces rondelles seront timbrées d'une marque annonçant en chiffres le degré de chaleur auquel elles sont fusibles.

Art. 6. Une chaudière ne pourra être placée que dans un local d'une dimension au moins égale à vingt-sept fois son cube.

Ce local devra être éclairé au moins sur deux de ses côtés, par de larges

baies de croisées, fermées de châssis légers et ouvrant en dehors. Il ne pourra être contigu aux murs mitoyens avec les maisons voisines, et devra toujours être séparé, à la distance de deux mètres, par un mur d'un mètre d'épaisseur au moins. Il devra aussi être séparé par un mur de même épaisseur de tout atelier intérieur. Il ne pourra exister d'habitation ni d'atelier au-dessus de ce local.

Art. 7. Les ingénieurs des mines, dans les départements où ils sont en résidence, et, à leur défaut, les ingénieurs des ponts-et-chaussées, sont chargés de surveiller les épreuves des chaudières et des rondelles métalliques. Ils les frapperont des marques dont les timbres leur seront remis à cet effet.

Lesdits ingénieurs s'assureront, dans leurs tournées, au moins une fois par an, que toutes les conditions prescrites sont rigoureusement observées. Ils visiteront les chaudières, constateront leur état, et provoqueront la réforme de celles que le long usage ou une détérioration accidentelle leur ferait regarder comme dangereuses.

Les autorités chargées de la police locale, exerceront une surveillance habituelle sur les établissements pourvus de machines à haute pression.

En cas de contravention aux dispositions de la présente ordonnance, les chefs d'établissement pourront encourir l'interdiction de leur établissement, sans préjudice des peines, dommages et intérêts qui seraient prononcés par les tribunaux.

Art. 8. Notre ministre secrétaire d'état au département de l'intérieur, fera publier une instruction sur les mesures de précaution habituelles à observer dans l'emploi des machines à haute pression.

Cette instruction sera affichée dans l'enceinte des ateliers.

Art. 9. Notre ministre secrétaire d'état au département de l'intérieur, est chargé de l'exécution de la présente ordonnance, qui sera insérée au Bulletin des lois.

DIRECTION GÉNÉRALE DES PONTS-ET-CHAUSSÉES ET DES MINES.

INSTRUCTION

Sur les mesures de précaution habituelles à observer dans l'emploi des machines à vapeur à haute pression.

L'emploi des machines à vapeur à haute pression, exige des précautions de tous les instants, de la part des ouvriers chauffeurs auxquels leur service est

confié, et une surveillance constante de la part des propriétaires de ces machines. En négligeant les précautions nécessaires, les ouvriers peuvent occasionner des accidents funestes, dont ils seraient les premières victimes. En se relâchant de la surveillance qui est indispensable, les propriétaires deviendraient la cause indirecte de ces accidents; ils s'exposeraient d'ailleurs à des pertes considérables, telles que celles qui résulteraient de la destruction des machines, de la dégradation des ateliers et de la cessation des travaux.

Il est du devoir de tout propriétaire, de ne confier la conduite de sa machine qu'à un ouvrier dont l'intelligence et la capacité soient bien reconnues, et qui soit non seulement attentif, actif, propre et sobre, mais encore exempt de tout défaut qui pourrait nuire à la régularité du service. Rien ne doit déranger cette régularité, rien ne doit troubler ou détourner l'attention de l'ouvrier pendant le travail; autrement il ne peut y avoir de sécurité dans l'établissement.

L'attention de l'ouvrier chauffeur, et la surveillance du propriétaire, doivent porter principalement sur les parties suivantes de la machine, savoir : le foyer, la chaudière et les tubes bouilleurs, la pompe alimentaire et le niveau de l'eau dans la chaudière, les soupapes de sûreté, le manomètre. Il y a aussi quelques précautions à prendre relativement à l'enceinte extérieure.

Du foyer.

Le principe d'après lequel on doit diriger le chauffage, est d'éviter une augmentation de chaleur trop brusque ou un refroidissement trop rapide. Dans l'un et l'autre cas, les tubes bouilleurs éprouvent partiellement des inégalités de température plus ou moins considérables, et qui, à raison des variétés de dilatations produites, peuvent occasionner des fêlures et des pertes.

Ainsi donc la mise en feu ne doit pas être poussée avec trop de vivacité, surtout lorsque le foyer a été tout à fait refroidi. On ne gagnerait du temps qu'en compromettant la conservation des tubes bouilleurs.

Lorsque le feu est arrivé au point d'activité nécessaire pour le jeu de la machine, on doit le conduire avec égalité, et à cet effet, s'isier à propos et ne jeter que les quantités de combustible déterminées par l'expérience. Il faut éviter de laisser tomber le feu pendant le travail; et lorsque cela est arrivé, il n'est point convenable de projeter à la fois une trop grande quantité de combustible dans le foyer; car cette précipitation, qui aurait d'abord l'inconvénient de le refroidir momentanément, occasionnerait ensuite un développement de chaleur excessif et dangereux.

Il est à propos d'exécuter dans le moins de temps possible les opérations du tirage et du rechargement du combustible, afin d'abréger l'action destructive

que l'air froid peut exercer sur les tubes bouilleurs, en s'introduisant avec rapidité par l'ouverture de la porte du foyer.

On est dispensé de la plupart de ces précautions, lorsque le foyer est muni d'un distributeur mécanique versant la houille au feu, à mesure qu'elle est nécessaire; mais alors l'ouvrier doit veiller à ce que ce distributeur ne manque pas d'aliment, et à ce que le versement soit uniforme et continu.

L'extinction du feu, lorsqu'elle n'est point conduite avec soin, est une des causes les plus ordinaires des accidents qui arrivent aux tubes bouilleurs. Le meilleur mode est de laisser le foyer chargé du résidu de la combustion, de fermer le registre de la cheminée ainsi que la porte du cendrier, et de luter avec un peu de terre grasse les joints de cette porte et ceux de la porte du foyer. En procédant ainsi, on évite non seulement que l'air ne refroidisse trop brusquement les tubes, mais encore qu'il ne contribue à oxider trop promptement leur surface extérieure. On profite de plus d'une partie du résidu de la combustion; car ce résidu finit par s'éteindre à raison du défaut d'air, et l'on peut ensuite le retirer sans inconvénient (1).

Des tubes bouilleurs et de la chaudière.

Quelque pure que paraisse l'eau qu'on emploie, elle dépose toujours un sédiment terreux qu'il importe de ne pas laisser accumuler. En effet, ce sédiment se durcirait, et s'épaissirait en peu de temps; il augmenterait la difficulté de faire pénétrer dans les tubes bouilleurs et dans la chaudière, la chaleur qui est nécessaire pour produire la vapeur avec le degré de tension convenable. Il faudrait un plus grand feu. Il en résulterait par conséquent plus de dépense de combustible, et plus de chances d'altération ou de rupture.

L'expérience a démontré, qu'en introduisant dans les tubes bouilleurs et dans la chaudière une certaine quantité de pommes de terre, la substance de ces pommes de terre se mêle avec les sédiments terreux, sous forme de bouillie, et en prévient l'endurcissement; mais à mesure que les sédiments augmentent, cette bouillie nuit à la production de la vapeur, soit par sa viscosité, soit par l'espace qu'elle occupe. Il vient un terme où l'enlèvement des dépôts devient indispensable; ce terme arrive plus ou moins fréquemment suivant la nature des eaux. C'est au propriétaire de chaque machine à chercher par l'expérience la période de temps la plus convenable pour le nettoyage, comme aussi de trouver le *minimum* de la quantité de pommes de terre qui doit être employée. Ces recherches ne tiennent pas seulement aux soins de la

(1) Le feu conservé dans un foyer même luté, brûle toujours, et produit de la vapeur. Cette pratique doit être défendue aux chauffeurs comme très-dangereuse (570). G. et J.

sûreté, mais encore à des considérations d'économie relativement à la facile production de la vapeur.

Lorsque, malgré toutes les précautions, un tube bouilleur vient à se fendre, l'ouvrier doit en avertir le propriétaire, et celui-ci ne doit pas hésiter à faire procéder au remplacement. Le rhabillage du tube ne ferait que masquer l'inconvénient, et le danger d'une rupture pourrait s'accroître en très-peu de temps.

Le propriétaire et l'ouvrier doivent observer avec attention les progrès de la détérioration superficielle que les tubes bouilleurs éprouvent à la longue ; ceux surtout qui sont fabriqués en tôle. Ils ne doivent pas attendre la visite de l'ingénieur pour provoquer de nouvelles épreuves de ces tubes, lorsque leur amincissement peut donner des doutes sur leur solidité.

Il en est de même des chaudières ; mais comme les moyens d'observation sont moins multipliés, l'ouvrier et le propriétaire doivent saisir toutes les occasions de constater l'état des choses, soit lorsqu'il faut changer un ou plusieurs tubes bouilleurs, soit lorsqu'il y a des réparations à faire au foyer ou à la chemise de la chaudière, soit enfin toutes les fois qu'il est nécessaire de vider la chaudière pour la nettoyer. Mais en outre, aucune des indications que les moindres suintements peuvent donner, ne doit être négligée.

Lorsqu'on s'aperçoit d'une fuite à la jointure du plateau qui ferme un tube bouilleur, ou à celui qui recouvre l'entrée de la chaudière, on ne doit point essayer d'y pourvoir pendant le travail en serrant les écrous : on courrait le risque d'occasionner la rupture de ces plateaux, surtout lorsque le mastic qui garnit les bordures a eu le temps de s'endurcir ; en cas de rupture, l'ouvrier serait tué par les éclats ou brûlé par l'eau et la vapeur. Ces sortes de fuites ne doivent être réparées que lorsque le travail a cessé.

Lorsque les tubes bouilleurs et la chaudière sont à nettoyer, les propriétaires ne doivent pas exiger que les ouvriers entreprennent de vider l'eau avant que sa température ne soit suffisamment abaissée, surtout pour les machines dans lesquelles les plateaux des tubes bouilleurs ne sont point garnis de robinets.

De la pompe alimentaire et du niveau de l'eau dans la chaudière.

Il est de la plus grande importance que l'eau de la chaudière soit maintenue au niveau qui est indiqué par la position horizontale du levier mu par le flotteur. Il ne faut pas que l'ouvrier s'en rapporte à la simple inspection du levier, pour connaître la hauteur de l'eau dans la chaudière : il doit s'assurer très-souvent que les mouvements du flotteur sont parfaitement libres. Il doit veiller surtout à ce que la garniture qui empêche la vapeur de s'échapper le long de la tige du flotteur, ne serre pas trop cette tige ; car, si cela arrivait, les indications données par le flotteur cesseraient d'être exactes.

Ces dernières précautions sont également nécessaires pour les machines dans lesquelles les mouvements d'abaissement du flotteur font ouvrir le tuyau nourricier, et portent ainsi le remède convenable à la diminution de l'eau dans la chaudière.

La surveillance de la pompe alimentaire n'est pas moins indispensable (1); si, par suite de négligence, la hauteur de l'eau avait très-notablement diminué dans la chaudière, il faudrait, aussitôt qu'on s'en apercevrait, rétablir ou augmenter peu à peu le jet nourricier; car autrement on s'exposerait à des accidents. En effet, l'eau, en s'élevant rapidement contre les parois de la chaudière, que la chaleur aurait rougies, fournirait instantanément une trop grande quantité de vapeur, et il serait possible que l'accroissement de pression qui en résulterait fût supérieur à la pression que la chaudière pourrait supporter. Le danger de l'explosion serait imminent, si, dans une telle circonstance, les soupapes de sûreté n'étaient point en état de jouer librement, ou si, par suite d'une pratique imprudente ou coupable, elles se trouvaient surchargées de poids.

Des soupapes de sûreté (2).

Dans les machines dont les soupapes de sûreté sont à la disposition de l'ouvrier chauffeur, il est utile que cet ouvrier s'applique à en étudier le jeu, et à bien connaître le degré d'adhérence qu'elles contractent ordinairement avec le collet sur lequel elles pressent, surtout lorsqu'elles ont été rôdées récemment. Il faudrait avoir égard à cette adhérence, lors même que la soupape serait construite de telle manière que le plan de contact serait réduit à une zone circu-

(1) Dans le cas où la chaudière se viderait considérablement sans que l'on s'en aperçût, il faudrait bien se garder de rétablir l'alimentation interrompue, même avec les plus grandes précautions et peu à peu; il ne s'en produirait pas moins une explosion. Il faut immédiatement, dans ce cas, laisser tomber le feu, arrêter la machine, permettre à la chaudière de se refroidir lentement, et en écarter tout le monde pendant ce refroidissement. G. et J.

(2) Ce n'est pas l'adhérence qui est à redouter dans les soupapes de sûreté, parce que en les nettoyant tous les huit jours elle est nulle; mais ce sont au contraire les saletés, qui en s'y engageant, empêchent la soupape de fermer hermétiquement, laissent échapper beaucoup de vapeur et forcent le chauffeur à la surcharger. Aussi, est-ce une grande erreur que d'engager le chauffeur à soulever la soupape fréquemment; il faut au contraire le lui défendre très-expressément; la vapeur entraîne avec elle des saletés qui occasionnent des pertes de vapeur qu'on arrête le plus souvent en surchargeant les soupapes, comme nous venons de le dire tandis qu'on devrait seulement les rôder à sec, ainsi qu'il a été recommandé. (308)

Ces conseils sont loin d'être complets; mais on trouvera dans l'article relatif à la conduite des machines à vapeur, des instructions plus détaillées sur les précautions à prendre, et à exiger des chauffeurs. Nous ne reviendrons pas autrement sur ce sujet: ce que nous avons dit suffit pour faire sentir combien les mesures prescrites sont insuffisantes pour atteindre le but qu'elles se proposent. G. et J.

laire très-étroite. Le chauffeur doit s'assurer très-fréquemment que les soupapes jouissent de toute la liberté de mouvement dont elles ont besoin pour remplir leur destination. A cet effet, il est bon qu'il soulève de temps en temps l'extrémité de la branche du levier qui supporte le poids servant de charge habituelle, afin de s'assurer que la soupape n'a pas contracté une trop forte adhérence.

Lorsque les soupapes d'une machine ne jouent pas librement, et lorsque en même temps on vient à leur donner le *maximum* de charge habituelle, elles ne peuvent remplir leur objet qu'imparfaitement, elles retiennent la vapeur alors qu'elles devraient lui donner issue ; la vapeur s'accumule et se comprime, et pourrait, suivant les circonstances, acquérir une force de tension qui surpasserait la résistance que la chaudière est capable d'opposer, et qui la ferait éclater.

Ce funeste effet pourrait encore être produit, si, dans l'intention de donner plus d'activité à la machine, on avait ajouté des poids à ceux qui composent le *maximum* de la charge habituelle des soupapes. De telles surcharges sont extrêmement dangereuses ; l'ignorance du danger pourrait seule excuser les propriétaires de les ordonner, et l'ouvrier chauffeur de s'y prêter. Il faut que les ouvriers sachent bien que l'un des principaux effets d'une explosion, serait d'épancher une immense quantité de vapeur brûlante qui leur causerait une mort cruelle.

De tels dangers seront beaucoup moins à craindre dans les machines qui seront établies en vertu de l'ordonnance royale du 29 octobre 1823 ; mais les soupapes n'en devront pas moins être surveillées et entretenues dans un état de liberté parfaite. En effet, pour peu que leur jeu devint moins facile, il arriverait qu'à la moindre augmentation dans l'activité du feu, la vapeur, au lieu de s'échapper, acquerrait plus de chaleur et de tension, il y aurait un terme où elle fondrait, et romprait les rondelles de métal fusible qui devront être appliquées à chaque chaudière ; le travail de l'atelier serait interrompu, et le propriétaire encourrait les inconvénients des retards résultant de la pose de nouvelles rondelles. Le propriétaire est particulièrement intéressé à visiter journellement la soupape qui sera renfermée sous le grillage en fer dont la clé devra rester à sa disposition.

En général les soupapes ont besoin d'être rodées très-fréquemment ; autrement elles finissent par laisser perdre de la vapeur. Ce soin d'entretien n'admet pas de négligence, car l'ouvrier ne pourrait y suppléer qu'en augmentant la charge habituelle : or les propriétaires ne sauraient proscrire les surcharges avec trop de rigueur.

Lorsqu'on veut cesser tout à fait le feu, ou lorsqu'on le couvre seulement pour en retrouver le lendemain, il ne faut pas quitter l'atelier sans s'être assuré que les soupapes, convenablement déchargées, peuvent donner librement issue à la vapeur qui continue de se produire.

Du manomètre.

Le manomètre, à raison de sa communication avec l'intérieur de la chaudière, indique à chaque instant la marche plus ou moins rapide de la production de la vapeur, et le degré de la force de pression qui en résulte. Cette indication est donnée par le mouvement de la colonne de mercure renfermée dans le tube de verre; elle se mesure au moyen de l'échelle qui est placée le long du tube.

Cet instrument est d'une grande utilité, lorsqu'il a été construit avec soin et gradué avec exactitude. Comme il est fragile, les propriétaires de machines doivent prendre les mesures nécessaires pour le préserver de tout accident, et le faire couvrir d'un grillage en fil de fer ou en fil de laiton.

Le propriétaire doit aussi donner ses soins pour que l'ouvrier comprenne la destination et les avantages de l'instrument, et sache à propos tirer parti de ses indications.

Enfin, il est du devoir de l'ouvrier de consulter très-fréquemment le manomètre, et de le prendre constamment pour guide dans la conduite du feu, quelle que soit d'ailleurs la charge, ou, en d'autres termes, la pression avec laquelle la machine travaille, suivant les besoins de l'atelier.

De l'enceinte de la machine.

En supposant qu'une explosion pût arriver, c'est un moyen de la rendre moins dommageable, que de tenir le local de la machine complètement isolé, et de ne placer les matériaux qu'on serait forcé d'emmagasiner dans son voisinage, qu'à la distance de plusieurs mètres. Le propriétaire se mettrait en contravention avec l'article 6 de l'ordonnance royale du 29 octobre 1823, s'il venait à remplir avec des matériaux résistants, l'espace qu'il faut laisser du côté des habitations, entre les murs mitoyens et le mur de défense qui doit enclore le local de la machine. Ce mur de défense ne peut remplir l'objet que l'ordonnance royale a eu en vue, qu'autant qu'il confine au dehors avec un espace vide.

Enfin, il est indispensable que le local de la machine puisse être bien fermé, et qu'en l'absence du chauffeur personne ne puisse s'y introduire. On conçoit, par exemple, que si, par malveillance, on venait à surcharger les soupapes, ou à les bander avec des cales, lorsque le feu a été arrêté ou converti, l'accumulation de la vapeur pourrait occasionner un accident. Les précautions habituelles que ce cas particulier peut exiger, sont tout aussi importantes que celles qui concernent les différents cas qui ont été précédemment exposés. La

prévoyance des propriétaires des machines, et la vigilance des ouvriers chauffeurs ne doivent être en défaut dans aucun temps, dans aucune circonstance.

Paris, le 19 mars 1824,

*Le conseiller-d'état, directeur général des ponts-et-chaussées
et des mines,*

Signé BECQUEY.

Approuvé, le 19 mars 1824 :

Le ministre secrétaire d'état au département de l'intérieur,

Signé CORBIÈRE.

DIRECTION GÉNÉRALE DES PONTS-ET-CHAUSSÉES ET DES MINES.

SECONDE INSTRUCTION

Relative à l'exécution de l'ordonnance royale du 29 octobre 1823, sur les machines à vapeur, ou sur celles dans lesquelles la force élastique de la vapeur fait équilibre à plus de deux atmosphères, lors même qu'elles brûleraient complètement leur fumée.

L'ordonnance royale du 29 octobre 1823 a statué qu'à l'avenir aucune chaudière de machine à vapeur à haute pression, ne pourrait être mise dans le commerce (et à plus forte raison employée) qu'autant qu'elle serait munie de deux soupapes et de deux rondelles de métal fusible, et qu'après avoir été éprouvée à l'aide d'une presse hydraulique et timbrée après l'épreuve.

Le fabricant de chaudières et de machines à haute pression, qui aura des chaudières à faire vérifier, éprouver et timbrer, adressera une demande au préfet, qui la transmettra immédiatement à l'ingénieur des mines, s'il réside dans le département, et dans le cas contraire, à l'ingénieur des ponts-et-chaussées qui doit le suppléer. (*Art. 7 de l'ordonnance.*)

Le préfet veillera à ce que les opérations se fassent dans le plus court délai possible, afin qu'il n'en puisse résulter aucun inconvénient pour les besoins du commerce et de l'industrie.

L'ingénieur vérifiera d'abord si les dimensions des soupapes sont telles, que le jeu de l'une d'elles puisse suffire au dégagement de la vapeur, dans le cas où la vapeur acquerrait une trop grande tension.

Il vérifiera de même si les orifices dans lesquels les deux rondelles de métal fusible devront être encastrées, ont le diamètre convenable, savoir :

Pour la première, un diamètre au moins égal à celui de l'une des deux soupapes;

Pour la seconde, un diamètre double.

Il reconnaitra en même temps si la position de ces orifices est telle, que les rondelles puissent remplir leur destination.

L'épreuve de la chaudière n'aura lieu qu'après l'ajustement des deux rondelles. Cet ajustement sera précédé des opérations suivantes :

L'ingénieur déterminera, d'après la table ci-jointe, le degré de fusibilité du métal dont chaque rondelle devra être faite. Il vérifiera ensuite si le métal dont on se propose de fabriquer chaque rondelle, est doué de la fusibilité requise. Cette vérification pourra avoir lieu de deux manières.

1^o Si le métal a été préparé par le fabricant de chaudières ou de machines, l'ingénieur procédera à l'essai des deux espèces de lingots qui devront fournir la matière des rondelles, en employant le mécanisme dont le fabricant fait lui-même usage, mais après en avoir vérifié l'exactitude.

2^o Si le fabricant de chaudières ou de machines veut employer du métal fusible acheté dans le commerce, l'ingénieur n'aura qu'à constater si les deux lingots portent le timbre légal annonçant le degré de leur fusibilité, c'est-à-dire, si chacun d'eux est marqué du timbre, qui a dû y être apposé par l'ingénieur des mines commis pour faire ces sortes d'essais, dans la manufacture même du métal fusible; ce timbre sera le même que celui dont il est parlé dans le paragraphe ci-dessous.

L'ingénieur, ayant acquis la certitude que les lingots sont composés, l'un de métal fondant à dix degrés centigrades au-dessus de la température que la vapeur aura habituellement dans la chaudière, et l'autre de métal fondant à vingt degrés centigrades au-dessus de la même température, fera couler en sa présence les deux rondelles, et il apposera à chacune d'elles un timbre octogone portant la légende *Ponts-et-chaussées et mines*, au milieu de l'empreinte duquel il fera immédiatement graver, sous ses yeux, le degré de fusibilité des rondelles.

Les rondelles seront ensuite ajustées à la chaudière.

Dans le cas où le fabricant de machines se serait procuré des rondelles toutes faites et qui auraient déjà été essayées et timbrées dans le lieu de leur fabrication, l'ingénieur n'aura d'autre soin à prendre que de vérifier les timbres indiquant les températures ayant que les rondelles soient ajustées à la chaudière (1).

En général, dans la vérification du degré de fusibilité du métal fusible, il

(1) Les fabricants trouveront du métal fusible pour toutes les températures requises, préparé d'après les indications de M. Gay-Lussac, membre de l'Académie royale des sciences, chez M. Collardeau, rue du Faubourg Saint-Martin, n. 56, à Paris.

faudra que l'ingénieur fasse attention, qu'il ne s'agit pas de constater le degré où le métal devient parfaitement fluide, mais celui auquel le métal se ramollit assez pour céder à la pression de la vapeur. Cette distinction est importante, car les plaques de métal fusible sont susceptibles de perdre leur ténacité un peu avant d'arriver à la température qui détermine leur fusion parfaite. Le timbre doit, par conséquent, exprimer non pas le degré de fusion parfaite, mais celui qui ramollit le métal d'une quantité suffisante pour rendre la plaque susceptible de s'ouvrir par la pression qu'elle éprouve sous cette température.

La chaudière, étant munie de ses tubes bouilleurs, de ses rondelles et de ses soupapes convenablement surchargées de poids, sera remplie d'eau, et on l'éprouvera à l'aide d'une presse hydraulique ou pompe de pression, qui sera fournie par le fabricant, avec la main-d'œuvre nécessaire à son emploi.

La pression exercée devra être cinq fois plus forte que celle que la chaudière est destinée à supporter dans l'exercice habituel de la machine dont elle fera partie; c'est-à-dire, par exemple, que si la chaudière est destinée à travailler à deux atmosphères, la pression d'épreuve sera portée à dix atmosphères (1).

Lorsque la chaudière aura résisté à cette épreuve, l'ingénieur y fera apposer, en sa présence, le timbre qui indiquera la pression à laquelle la machine devra habituellement travailler, exprimée en atmosphères.

Ce timbre consistera, 1^o en une plaque de cuivre circulaire frappée à la monnaie de Paris, portant en légende *Ordonnance du 29 octobre 1823*, et sur laquelle le nombre d'atmosphères et de demi-atmosphères sera marqué; 2^o en trois vis du même métal, destinées à assujétir la plaque sur le corps de la chaudière au moyen de trous taraudés. Lorsque les vis auront été complètement enfoncées, l'ingénieur fera raser la tête de chaque vis à fleur de la plaque, de manière à faire disparaître la fente de cette tête. Il formera ensuite une empreinte sur la tête de chaque vis à l'aide d'un poinçon à fleurs de lys, ayant un diamètre plus grand que celui de cette tête.

La plaque et les vis en cuivre seront fournis par le fabricant (2).

Au moyen des dispositions qui précèdent, toutes les chaudières des machines à haute pression seront essayées au lieu même de leur fabrication, ce qui concentrera les épreuves dans un petit nombre de départements.

S'il n'existe point de fabrique de chaudières dans le département, les opérations de l'ingénieur, à l'égard des chaudières qu'on y introduira pour le service, soit de machines à haute pression déjà permissionnées, soit de machines nouvelles et à permissionner, consisteront à vérifier les deux espèces de timbres

(1) Dans la fixation du nombre d'atmosphères auxquelles doit travailler la chaudière, et que l'on doit multiplier par 5 pour l'essai, les ingénieurs ne comptent pas le poids de l'atmosphère pesant directement sur la chaudière, ils comptent donc comme les manomètres 0 atmosphère à 100° de température.

(2) Les fabricants pourront s'en procurer de toute espèce, et au prix de la main-d'œuvre, à la Monnaie royale des médailles, rue Guénégaud, n. 8, à Paris.

que ces chaudières devront porter. Ces vérifications se feront aisément au moyen de clichés.

Un exemplaire de ces clichés est déposé aux archives de la préfecture, un autre au bureau de l'ingénieur des mines, ou, à son défaut, au bureau de l'ingénieur des ponts-et-chaussées.

Paris, le 7 mai 1825.

Le conseiller d'état, directeur général des ponts-et-chaussées et des mines,

Signé BECQUEY.

Approuvé, le 7 mai 1825:

Le ministre secrétaire d'état au département de l'intérieur,

Signé CORBIÈRE.

LÉGENDE DES PLANCHES.

PLANCHE PREMIÈRE.

FIG. 1^{re}. Chaudière à bouilleurs de fonte avec son fourneau, pour une machine à moyenne pression de huit chevaux, pouvant produire jusqu'à 200 k. de vapeur à l'heure avec une consommation de 40 k. de houille. Coupe longitudinale.

FIG. 1, 2, 3, 6. (13 à 25, 112 à 129.)

A B. Les deux segments de la chaudière, mastiqués ensemble à queue d'hironde et boulonnés.

C. Bouilleurs de fonte dont le col **E** est mastiqué à queue dans la tubulure de la chaudière.

D. Cheminée de 13 1/2 décimètres carrés de section, sans rétrécissement, et munie d'un registre **g** servant à régler le tirage du fourneau.

E. Culotte où le bouilleur est fixé à queue d'hironde, et au mastie de fonte.

F G H J K L M. Carneaux dans lesquels circule la fumée au sortir du foyer pour se rendre dans la cheminée **D**.

N. Foyer qui n'a que 0 m. 30 de hauteur, pour brûler de la houille.

O. Cendrier.

S S. Supports en fonte de la chaudière.

V V. Cintres en briques, réservés devant et derrière le fourneau, pour le démontage des bouilleurs, et le nettoyage des carneaux; ils sont ensuite fermés en maçonnerie.

X X. Montants en fonte reliés par des boulons qui contiennent le fourneau.

Z Z. Ouvertures de nettoyage des carneaux latéraux.

a. Bourrelet de fonte, réservé à l'un des segments de la chaudière, dans lequel s'ajuste à queue l'autre segment.

b. Support de fer en croissant, sur lequel repose la queue des bouilleurs, et qui est placé sur le sol du premier carneau **L**.

- c. Seuil en fonte de la porte du fourneau, soutenu par une voûte en briques, afin qu'il ne soit pas exposé à se briser comme cela arrive quand il porte à faux.
- d. Autel ou marche en briques réfractaires, qui sépare la grille du premier carneau, et empêche la houille et les cendres de s'y engager.
- e. Traverse en fonte ou en fer forgé qui soutient la tête des bouilleurs; cette pièce ne doit pas reposer sur la porte.
- f. g. h. Traverses de fer, unies par un boulon, et servant à relier les bouilleurs à la chaudière quand leur collet n'est pas à queue d'hironde.
- ii. Tampons des bouilleurs.
- i. Parte du fourneau, boulonnée sur la maçonnerie.
- m. Cloison horizontale en briques, fermant sur toute sa longueur l'intervalle resté entre les deux bouilleurs.
- n. Mur en briques élevé sur chacun des bouilleurs, et formant sous la chaudière un carneau central *M*, et deux carneaux latéraux *J K*.
- o. Barreaux de la grille, reposant sur des chenets ou sommiers en fonte.
- p. Dez en pierre dans lesquels sont entaillés les pieds des supports de fonte *S* de la chaudière.
- q. Registre, en tôle ou en fonte, ayant exactement la section de la cheminée.
- r. Balancier du flotteur reposant sur sa colonne avec son contrepoids.
- ss. Traverses et bonclinn du trou d'homme.
- t. Tuyau à vapeur.
- u. Tuyau de décharge de la chemise.
- v. Tuyau d'injection de la pompe alimentaire.
- x. Pierre du flotteur.
- y. Soupapes de sûreté.
- z. Fil de cuivre qui soutient la pierre du flotteur.

On voit ici quatre carneaux horizontaux, en supposant nécessaire de placer la cheminée sur le devant du fourneau.

Au sortir du foyer *N*, l'air chaud s'engage dans le carneau *L*, remonte ensuite derrière la queue des bouilleurs dans le carneau central *M* (la fig. 6 montre clairement cette disposition); de là, après avoir parcouru la longueur des bouilleurs jusqu'à leur col, il passe par l'ouverture *G*, dans le carneau latéral de gauche *J*, et revient par derrière la chaudière en *F*, dans le carneau latéral de droite *K*, et passant enfin par-dessus les bouilleurs devant leur culotte, va se rendre dans la cheminée *D*, par le carneau vertical *H*, dont la prolongation est indiquée (fig. 1^{re}) par des lignes ponctuées.

FIG. 2. Coupe transversale de la chaudière, et de son fourneau, passant par la culotte des bouilleurs et le foyer.

FIG. 3. Élévation, de face, du même fourneau, avec le cintre *F* et les ferrures *X X*.

FIG. 4. Chaudière de tôle dont les bouilleurs sont placés sous une voûte. La flamme, après avoir enveloppé complètement les bouilleurs, circule autour de la chaudière au moyen des carneaux latéraux.

Cette chaudière est destinée à un service de 100 k. de houille par heure, ou 25 à 30 chevaux, avec une longueur de 8 m. 50, et avec des bouilleurs de 9 mètres.

a. Carneau voûté avec des briques taillées.

b. Carneau voûté avec des briques sans être taillées : disposition aussi bonne et plus économique.

FIG. 5. Coupe d'une chaudière en cuivre à trois bouilleurs, et disposition des carneaux (130).

Il n'y a que trois carneaux horizontaux.

L'air brûlé passe dans le 1^{er} carneau *L*, de là se rend dans l'un des carneaux latéraux *J K*, puis par le devant de la chaudière dans le second, et débouche enfin dans la cheminée placée derrière le fourneau.

a a. Indication ponctuée de l'élargissement que prennent les carneaux latéraux, pour conserver la même section en passant devant les tubulures.

m m. Briques fermant l'espace resté entre les bouilleurs.

n n. Mur élevé au-dessus du bouilleur du milieu.

Au moyen de cette disposition, plus de la moitié des bouilleurs est directement chauffée par le feu.

FIG. 6. Coupe sur le travers de la chaudière et des carneaux de la fig. 1^{re}, montrant la disposition des trois carneaux horizontaux *J K M*, et des deux murs *n n* qui les séparent.

FIG. 7. Coupe d'une chaudière semblable, sous laquelle on n'a établi que deux carneaux horizontaux, parce que la cheminée est placée derrière le fourneau (124).

Le mur de séparation *n* est élevé sur les briques *m*, qui ferment l'intervalle des bouilleurs.

On doit alors donner beaucoup de solidité à cette construction, en employant les briques de champ, car lorsqu'elle vient à s'écrouler, elle occasionne souvent la destruction de la chaudière, que la flamme vient alors frapper directement.

Cette disposition de carneaux est plus simple, et donne un meilleur tirage que celle de la fig. 6 ; elle est assez semblable à celle de la fig. 5.

PLANCHE DEUXIÈME.

FIG. 1 et 2. Chaudière cylindrique avec son fourneau, destiné à brûler de la tourbe ou du bois, et pouvant produire 280 k. de vapeur, en consommant 110 ou 120 k. de tourbe de bonne qualité (134).

A. Foyer d'une grande capacité, et surtout d'une grande hauteur.

B. Voûte qui couvre le cendrier et porte les barreaux de la grille.

C. Chaudière.

D. Cheminée.

Cette cheminée a des dimensions destinées à faire le service de deux fourneaux semblables.

a c. Niveau de l'eau, au-dessus duquel ne doivent pas monter les carneaux, pour ne pas s'exposer à brûler la chaudière.

e e. Oreilles rivées au corps de la chaudière, et sur lesquelles celle-ci est scellée dans la maçonnerie du fourneau.

FIG. 3, 4 et 5. Chaudière à fond concave, avec son fourneau, pouvant brûler environ 40 k. de houille, en donnant 200 à 250 k. de vapeur par heure, ce qui alimenterait une machine à basse pression de 6 ou 8 chevaux (7).

A. Bâche en fonte, servant à l'alimentation.

B. Flotteur qui baisse dès que l'eau vient à diminuer dans la chaudière, et qui ouvre en même temps, au moyen du balancier *a*, la soupape conique *b*; celle-ci laisse alors entrer l'eau de la bâche dans la chaudière, jusqu'à ce que le niveau, se rétablissant, soulève le flotteur, et ferme par conséquent la soupape *b*.

G. Barreaux de fer carrés, posés librement à côté l'un de l'autre; ils portent sur d'autres barreaux de fer qui servent de chenets. C'est la disposition employée dans les fours à puddler; elle est très-avantageuse pour le nettoyage et le remplacement des barreaux brûlés ou tordus.

J. Carneaux.

K. Élargissement que prend le carneau *J*, en se relevant sur la porte du fourneau, afin de ne pas augmenter sa hauteur.

O. Cendrier.

P. Porte en double cintre fermée par une plaque en tôle avec poignée.

a. Balancier.

b. Soupape conique.

c. Seuil en fonte du foyer placé au-dessus des barreaux de la grille.

d. Autel qui retient le combustible sur la grille, et force la flamme à se relever sous la chaudière.

f. Chapeau en tôle qui garantit la cheminée de la pluie.

g. Double voûte qui forme la porte du fourneau.

- h h.* Niveau de l'eau dans la chaudière.
- k.* Chenets destinés à porter les barreaux de la grille.
- o o.* Ouvertures réservées dans la maçonnerie du fourneau vis-à-vis les carreaux, pour leur nettoyage.
- t t.* Tuyau de sûreté.

FIG. 4. Élévation de face du même fourneau.

FIG. 5. Coupe transversale du même fourneau.

PLANCHE TROISIÈME.

FIG. 1 et 2. Coupe et élévation des soupapes de sûreté; et de la boîte à étoupes du flotteur (308. 330).

- a.* Levier qui presse les soupapes de sûreté, guidé par les jumelles *ii* et le prisonnier *k*.
- b.* Goupille qui sert de point de rotation à ce levier; c'est son point fixe, pris sur le prisonnier *k*.
- c.* Point de suspension du poids *P*.
- d.* Point où s'exerce la tension de la vapeur pour soulever le levier *a* chargé du poids *P*.
- e.* Support des soupapes qui porte en même temps la colonne du flotteur.
- f.* Soupapes à siège plat.
- g.* Siège des soupapes mastiqué et boulonné sur le support.
- h.* Boîte à étoupes du flotteur et son chapeau.
- ii.* Jumelles qui fixent et maintiennent le levier *a* des soupapes, et en même temps retiennent par leurs écrous *ll* le support *e* au siège *gg* des soupapes.
- k.* Prisonnier du levier des soupapes.
- ll.* Écrous du prisonnier et des jumelles.
- P.* Poids dont on charge les soupapes : la distance du poids *P* au point *b* et *a* sert à régler cette charge.

FIG. 3. Reniflard, ou soupape de sûreté agissant du dehors au dedans, et destinée à laisser rentrer l'air quand le vide se produit dans les chaudières (329.).

FIG. 4. Manomètre des machines à basse pression (319).

- a b.* Tube de fer, dans lequel on met du mercure, et qui est boulonné à la chaudière *c*.
- c.* Chaudière.
- d.* Curseur en bois ou en fer, qui indique dans le tube de verre *v* le niveau du mercure.

- a.* Boule de cire rouge, servant d'indicateur pour les mouvements du curseur.
- P.* Planchette sur laquelle est tracée l'échelle du manomètre.
- v.* Tube de verre.

FIG. 5. Manomètre à moyenne et à haute pression (320).

- a.* Boîte en fonte qui reçoit le mercure.
- b.* Conduit par lequel la vapeur vient agir sur le mercure.
- c.* Tuyau qui établit la communication entre la chaudière et la boîte, au moyen du conduit *b*.
- d.* Plateau de la boîte.
- e.* Tube de verre, mastiqué au plateau *d*, dans lequel la pression de la vapeur comprime l'air, et en indique la compression, par la hauteur à laquelle le mercure s'élève.
- P.* Planchette de graduation.
- r.* Robinet destiné à fermer le tuyau *c*, dans le cas où le tube de verre *e* viendrait à se briser.

FIG. 6. Manomètre du même genre à siphon et en verre, mastiqué sur le tuyau de cuivre *a*.

FIG. 7. Manomètre à moyenne pression de la société de Mulhausen, mesurant la tension de la vapeur, par la hauteur de la colonne de mercure soulevée (327).

- a.* Tûbulure de la boîte du manomètre, qui s'ajuste et se bonbonne sur celle de la chaudière.
- b.* Boîte en fonte pleine de mercure.
- c.* Plateau de cette boîte, fixé par des vis.
- dd.* Oreilles au moyen desquelles la boîte *b* est attachée à l'un des murs de la chambre de la machine.
- e.* Poulies de renvoi du contre-poids *p*.
- f.* Flotteur en fer qui suit le niveau du mercure, et fait marcher le contre-poids *p* le long de l'échelle graduée *gg*, ou il indique la hauteur du mercure dans le tube, et par conséquent la tension de la vapeur.
- gg.* Planchette graduée, sur laquelle court le contre-poids *p*.
- p.* Contre-poids du flotteur *f*.
- tt.* Tubes de fer vissés les uns dans les autres, et recevant la colonne de mercure à mesure que la pression de la vapeur la refoule hors de la boîte *b*.
- u.* Entonnoir qui retient le mercure quand la pression de la vapeur, devenant trop forte, soulève la colonne entière, et s'échappe par le tube *tt*.

FIG. 8. Indicateur du niveau dans les chaudières (335).

- a.* Tube de verre mastiqué dans les deux appareils de cuivre *b b*, et indiquant le niveau de l'eau dans la chaudière *cc*.

d d d d. Quatre vis en cuivre, qui ferment les ouvertures par lesquelles on nettoie et dégorge chacun des tubes.

e. Double tube de tôle qui garantit le tuyau de cuivre de l'action du feu dans le carneau *f*.

f. Carneau où passe la fumée du fourneau.

FIG. 9. Tracé des pressions exercées sur les soupapes de sûreté à siège plat (308, note 7).

FIG. 10. Échelle de graduation des manomètres à air comprimé (322).

a b. e f. g h. m n. Lignes parallèles, coupées en parties proportionnelles, par toutes les divisions qui courent de *c*. en *a. d. p. m. n. s. t. u. v.* Ces lignes sont les échelles des manomètres de diverses longueurs. Ainsi *a b* est la graduation du manomètre dont la colonne d'air, est égale à *a b* etc., (note 12, manière de construire cette échelle.)

La ligne *g h* donne en nombres les réductions qu'éprouve successivement une colonne d'air égale à *g h*, quand elle est soumise à des pressions croissantes. La ligne *a b* les donne en atmosphères indiquant la pression. La première atmosphère, au-dessus de la pression atmosphérique, est divisée en dixièmes. La ligne *e f* donne la graduation du manomètre en kilogrammes, indiquant la pression exercée sur un centimètre carré de surface. La ligne *m n* donne les températures correspondantes aux pressions et aux atmosphères des autres colonnes. Ainsi, quand la pression s'est élevée à 0,5 atmosphères, la longueur de la colonne *g h*, que nous supposons primitivement de 100 parties, est réduite à 67, et indique de la vapeur à 112° de température.

Quand la pression s'est élevée à 1 atmosphère, suivant la ligne proportionnelle *c d*, la colonne d'air est réduite à 50 parties, etc.

PLANCHE QUATRIÈME.

FIG. 1^{re}. Tracé de la course du balancier, de la bielle et de la manivelle (montage des machines). (612 et suiv.)

g e. Demi-longueur du balancier.

e h. Arc de cercle qu'il décrit dans sa demi-course inférieure.

e f. Flèche de l'arc de cercle que décrit le balancier.

d. Milieu de cette flèche; c'est le point à l'aplomb duquel doit se trouver l'axe *a* de la manivelle *a b*.

d b. Position et longueur de la bielle quand le balancier est au milieu de sa course.

On voit que, en vertu de l'obliquité de la bielle, au moment où le balancier est horizontal, le prisonnier *b* de manivelle se trouve au-dessus du niveau

de l'axe de rotation *a* ; d'où il résulte que la demi-course inférieure *k l b* de la manivelle, est plus longue que sa demi-course supérieure *l m n*.

k h. Position de la bielle quand la machine est sur son centre.

On remarquera encore ici, que la légère obliquité de la bielle dans cette position, fait descendre le balancier un peu plus bas que la longueur exacte *f h* de sa demi-course verticale, mesurée par la longueur de la manivelle, et l'empêche de monter aussi haut dans sa demi-course supérieure ; mais cette erreur est à peine sensible, et l'action du volant en régularise la vitesse.

FIG. 2. Manivelle et queue de la bielle (407).

- a a*. Grains de la manivelle.
- b*. Prisonnier de la manivelle fixé par sa clavette.
- c*. Clavette de la manivelle.
- d*. Contre-clavette de la manivelle.
- e et f*. Clefs et goupille de la manivelle, qui la fixent sur son arbre.

FIG. 3. Ajustement de la tête du balancier et de la bielle (391, 407).

- a*. Boule du balancier dont les tourillons portent la tête de la bielle.
- b b*. Elavettes et contre-clavettes des grains de la tête de la bielle.
- d*. Goupille du chapeau du balancier *g*.
- e e*. Clavettes et contre-clavettes de la frette de la bielle.
- j j*. Double frette de la tête de la bielle, qui sert à la relier au balancier.
- g*. Chapeau du balancier qui serre et maintient la boule au moyen de la goupille *d*.

FIG. 4. Coupe des cylindres, de la grande plaque et des massifs sur lesquels ils reposent (356).

- a*. Tuyau d'apport de la vapeur, boulonné sur la tubulure de la chemise.
- b b b*. Chemise des cylindres.
- c*. Robinet de décharge de la chemise, remplaçant le tuyau de décharge.
- d d*. Vis de pression des cylindres destinées à les maintenir verticaux.
- e e*. Masticages de la chemise et des cylindres.
- f*. Fond des cylindres masticué à queue d'hironde.
- g g*. Position des passages de vapeur dans les cylindres.
- h*. Tron réservé pour recevoir le pied de la colonne du parallélogramme.
- ii*. Grande plaque fixée sur les massifs par de grands boulons, et sur laquelle sont aussi boulonnés les cylindres.

FIG. 5. Plan des cylindres et de la grande plaque, indiquant la position des colonnes, de l'entablement, de la pompe du puits, de la pompe alimentaire, du grand axe de la machine, et des axes de rotation du balancier, et de la manivelle (391, 393, 605).

- ab*. Grand axe de la machine.
- ai*. Axe de rotation de la manivelle.
- lm*. Axe de rotation du balancier.
- cc*. Axe de la colonne du parallélogramme, ou axe de rotation des bras de rappel, on point fixe du parallélogramme.
- dd*. Vis de pression des cylindres.
- f*. Centre du grand cylindre:
- n*. Centre du petit cylindre.
- gh*. Colonnes de l'entablement, liées à la grande plaque par des boulons à clavette.
- oo*. Grande plaque.
- ppp*. Trous où s'engagent les grands boulons qui fixent la plaque aux massifs.
- qq*. Trous destinés à boulonner sur la grande plaque le balustre qui porte l'indicateur, et la manivelle du robinet du condenseur.
- rrrr*. Taquets en fonte qui servent à maintenir invariablement la chemise sur la grande plaque.
- s*. Axe et centre de la pompe alimentaire.
- t*. Axe et centre de la pompe du puits.
- uu*. Passages de vapeur des cylindres.
- vvv*. Chemise.

FIG. 6. Tracé du parallélogramme et de son réglage. (398. 605.)

- a*. Axe de la colonne du balancier.
 - ar*. Colonne du parallélogramme.
 - b*. Axe de l'ellipse du condenseur.
 - ab*. Bras de rappel du parallélogramme.
 - cbd*. Arc de cercle que décrit le bras de rappel.
 - c*. Axe de la tête du grand piston.
 - em*. Tige du grand piston.
- Cette tige se trouve à l'aplomb du point *s*, qui est le milieu de la flèche de l'arc de cercle que décrit le balancier.
- f*. Axe de l'ellipse du petit piston.
 - g*. Axe de rotation du balancier.
 - gn*. Demi-longueur du balancier, depuis son axe de rotation jusqu'au centre de sa boule.
 - h*. Axe de la tête du petit piston.
 - hi*. Tige du petit piston.
 - k*. Chapeau de la boîte à étoupes du grand cylindre, avec ses boulons *tt*, dont les oreilles s'engagent sur des goujons *u u*.
 - l*. Rondelle en cuivre de cette boîte à étoupes.
 - n*. Axe de la boule du balancier. C'est l'axe de rotation des bras du grand piston.

- n e.* Bras du grand piston.
- o.* Tourillon des bras du petit piston.
- o h f.* Bras du petit piston.
- p.* Tourillon des bras du condenseur.
- p q b.* Bras du condenseur.
- q.* Axe de l'arbre du condenseur. On voit que les centres des arbres du condenseur, du petit piston et du grand piston, sont placés sur une même ligne droite *e g*, qui va du centre du dernier, à l'axe de rotation du balancier.
- r.* Pied de la colonne du parallélogramme fixé sur l'oreille de la chemise.
- s.* Milieu de la flèche de l'arc de cercle du balancier.
- tt.* Boulons de la boîte à étoupes du grand cylindre.
- u.* Goujons de cette boîte.
- uv.* Plateau du grand cylindre.
- x.* Trou à vapeur qui conduit sur le grand piston, la vapeur qui a travaillé sous le petit piston.
- y.* Trou à vapeur qui conduit sous le grand piston, la vapeur qui a travaillé sur le petit.
- a z.* Bras de la colonne qui la rend invariable en la reliant à l'entablement.

FIG. 7 et 8. Plan, coupe et élévation de l'entablement (391).

- a b.* Position des colonnes et de l'entablement, lorsqu'on en emploie quatre pour le soutenir, comme dans les fortes machines.
- c.* Croix en fonte ajoutée aux extrémités de l'entablement, et prise invariablement dans les murs de la chambre, pour s'opposer au mouvement de torsion que lui fait éprouver le balancier, à chaque course des pistons.
- d e.* Pierres de taille, entre lesquelles doit être serrée et scellée la croix *c* de l'entablement.
- f f.* Colonne de l'entablement dans les petites machines.
- g.* Boulon à clavette de la tête de la colonne.
- h.* Clavette qui serre la colonne avec l'entablement.
- ii.* Trous destinés à recevoir les bras de la colonne du parallélogramme.
- kl.* Grand axe de la machine.
- m.* Boulons qui descendent jusque dans les fondations de la machine pour maintenir l'entablement.

PLANCHE CINQUIÈME.

FIG. 1^{re}. Coupe et élévation des pistons à segments de fonte d'une machine de huit chevaux à deux cylindres (379).

- a.* Clavette de la tête du grand piston.
- b.* Tige du grand piston.

- c.* Arbre du grand piston qui relie la tête de ce piston au parallélogramme.
- d.* Clavette du plateau du grand piston.
- e.* Tête du grand piston.
- f.* Plateau du grand piston, serré sur les segments *h*, par quatre vis *gg*.
- h h.* Double rangée de segments de fonte, pressés par des boudins d'acier fondu *ii*, et destinés à empêcher la vapeur de passer autour du piston.
- ii.* Boudins d'acier fondu, portés sur des goujons et vissés dans le corps du piston.

FIG. 2. Pompe alimentaire (342).

- a.* Robinet d'aspiration qui sert à régler la marche de la pompe alimentaire, et par conséquent l'alimentation de la chaudière.
- c.* Tuyau d'aspiration amenant l'eau du condenseur, dans le corps de la pompe alimentaire.
- d.* Soupape d'injection.
- e.* Soupape d'aspiration.
- f.* Robinet d'injection, servant à fermer le passage à l'eau et à la vapeur de la chaudière, quand il est nécessaire de nettoyer les soupapes, au milieu du travail de la machine.
- g.* Tringle de la pompe alimentaire.
- h.* Chapeau qui ferme la chapelle *u*.
- l.* Piston de la pompe alimentaire.
- m.* Boîte à étoupes de la pompe alimentaire.
- n.* Rondelle de cuivre placée au fond de la boîte à étoupes.
- o.* Vis de pression et son étrier, servant à maintenir le plateau *h* de la chapelle.
- t.* Corps de pompe.
- u.* Chapelle de la pompe alimentaire.
- x.* Clavette du piston de la pompe alimentaire.
- z.* Chapeau de la boîte à étoupes.

FIG. 3. Modérateur à force centrifuge (489).

- aa.* Arbre du modérateur.
- bb.* Grands bras du modérateur.
- cc.* Boulets fixés sur les bras par des écrous rivés.
- dd.* Petits bras du modérateur, qui conduisent la douille *e*.
- e.* Douille en cuivre, glissant sur l'arbre *a*, et conduisant le balancier *f*.
- f.* Balancier, qui transmet au robinet d'introduction de la vapeur, les mouvements de la douille *e*, au moyen de la bielle *g*, et de son prisonnier *h*, qui s'engage dans le levier du robinet.
- g. f.* Voyez *f*.

FIG. 4. Condenseur d'une machine de huit chevaux à deux cylindres (458).

- a.* Tuyau d'aspiration, qui se prolonge jusque dans le puits.
- b.* Piston du condenseur, garni de sa corde et de son clapet d'aspiration, fixé sur sa tige, par un écrou.
- c.* Tuyau d'aspiration de la pompe alimentaire, qui vient puiser l'eau dans la cuvette du condenseur.
- d.* Pomme d'arrosoir placée à l'extrémité du robinet d'injection *t*, pour le garantir de l'introduction des ordures, qui le pourraient engorger.
- e.* Bâche dans laquelle plonge le condenseur, et où il puise l'eau fournie par la pompe de puits.
- f.* Boîte à étoupes.
- ii. gg.* Corps de pompe du condenseur, et ses rebords inférieurs : il est mastiqué en *l* dans la chemise *mm*.
- hh.* Fond de la chemise du condenseur. Ce fond y est quelquefois mastiqué à queue.
- k.* Cuvette du condenseur, qui reçoit l'eau de condensation, et la laisse couler au-dehors par le tuyau de décharge *u*.
- ll.* Mastiage du corps de pompe avec la chemise.
- m.* Chemise du condenseur.
- n.* Trépied destiné à soutenir le piston du condenseur, s'il venait à tomber au fond du corps de pompe.
- o.* Tuyau à vapeur du condenseur, établissant la communication avec la boîte du grand cylindre.
- p.* Clapet de refoulement du condenseur, glissant sur le collet *q* du plateau *ss*.
- q.* Collet sur lequel glisse ce clapet.
- rr.* Vis qui fixent le plateau du condenseur au corps de pompe.
- s.* Plateau du condenseur.
- t.* Robinet d'injection mis en mouvement par des leviers articulés, et une manivelle, qui est portée sur un balustre avec une platine en cuivre graduée, pour régler l'injection de l'eau.
- u.* Tuyau de décharge du condenseur.
- v.* Tige du piston du condenseur, fixée à la tringle *x* par une clavette, et au piston *b* par un écrou.
- x.* Tringle du condenseur, qui lie son piston au parallélogramme.
- y.* Clavette de la tige du condenseur.
- z.* Clapet d'aspiration du condenseur, et de la pompe à air.

FIG. 5. Petit piston.

- a.* Ecou qui serre le piston sur sa tige et sur l'embase *b*.
- b.* Embase du petit piston.
- f.* Plateau du petit piston.
- h h.* Segments de fonte.

FIG. 6. Appareil d'alimentation continue (338).

- a.* Petit pistou cylindrique percé d'un trou, glissant dans le cylindre *e*, et fixé au balancier *b* du flotteur, qui ouvre ou ferme par sa marche le tuyau d'aspiration *c* de la pompe alimentaire.
 - b.* Balancier du flotteur.
 - c.* Tuyau d'aspiration, conduisant l'eau du condenseur dans le corps de la pompe alimentaire.
 - d.* Tige du flotteur.
 - e.* Cylindre en cuivre boulonné sur la chaudière, et que traverse le tuyau d'aspiration.
 - f.* Point où doit toujours être suspendu le piston *a*, afin qu'il n'arrête pas les mouvements du flotteur, mais qu'il sorte au contraire de son cylindre, quand la pompe alimentaire cessant de fonctionner, le niveau de l'eau dans la chaudière continue à baisser.
 - g h.* Limites supérieures et inférieures, dans lesquelles doit rester la course du flotteur.
- Le piston *a*, le balancier du flotteur étant de niveau, ferme exactement le passage; mais aussitôt que le flotteur baissera, le passage doit s'ouvrir et l'alimentation commencer.

FIG. 7. Grains en bronze rechargés (519).

- a.* Épaisseur soudée sous un grain.
- b.* Épaisseur entaillée à queue, et soudée dans l'intérieur d'un grain usé.

FIG. 8. Planchette avec fil à plomb, pour dresser les cylindres (364).

Cette planchette doit avoir exactement pour largeur le diamètre des cylindres, où elle entre à frottement.

FIG. 9. Plan du grand pistou dont le plateau est enlevé.

- a.* Six segments de fonte.
- b.* Six coins en fonte, formant pression pour serrer les segments contre les parois du cylindre par l'action des ressorts *cc*.
- c c.* Ressorts des coins.
- d d.* Ressorts des segments; tous engagés sur un prisonnier vissé dans le corps du pistou.

FIG. 10. Niveau pour poser d'aplomb l'axe de rotation du balancier (614).

- a b.* Pieds parfaitement égaux, que l'on pose sur les deux tourillons de l'arbre du balancier.

FIG. 11. Mâchoires en bois de chêne, qui, au moyen de deux écrous, servent à serrer la tige des pistons, et à les soutenir sur la boîte à étoupes des cylindres, quand on les détache du parallélogramme (383).

PLANCHE SIXIÈME.

Règlement des boîtes de Hall.

FIG. 1^{re}. Tracé des deux roues d'angle qui commandent l'excentrique, montrant comment on met un des deux engrenages en avance sur l'autre (411).

h'. Engrenage callé sur l'arbre de la manivelle.

p'. Engrenage qui a le même nombre de dents que le précédent, et qui est callé sur l'arbre de l'excentrique.

r'. Dent qui engrène avec la dent correspondante *g'*, au moment où la manivelle est horizontale en montant (*g'*, fig. 5) et où l'excentrique est au bas de sa course, la pointe en haut (*u'*, fig. 2).

s' t'. Dents avec l'une desquelles doit engrèner la dent *r'*, la manivelle restant toujours dans la même position, pour que l'engrenage *p'*, et par conséquent l'excentrique *u'*, soient en avance de deux ou trois dents sur l'engrenage *h'*.

FIG. 2 et 4. Excentrique avec son chariot, et son arbre, dans la position qu'il occupe, quand les pistons sont au milieu de leur course, et la manivelle horizontale en montant.

h. Arbre du chariot de l'excentrique.

m' n'. Axe de rotation de l'excentrique.

o'. Chariot de l'excentrique armé de ses deux platines *v' z'* fixées par leurs vis.

u'. Excentrique au bas de sa course.

v. Arbre de l'excentrique.

Les lignes ponctuées, indiquent la position de l'excentrique et de son chariot, au haut de leur course, quand la machine est sur son autre centre, et la manivelle horizontale en descendant (*b'*, fig. 5).

FIG. 5. Élévation des cylindres, des soupapes, de l'excentrique et de la manivelle, dans la position indiquée plus haut, pour en opérer le règlement.

FIG. 7. Coupe de la petite boîte, passant par l'axe du petit cylindre.

FIG. 8. Coupe de la grande boîte, passant par l'axe du grand cylindre.

FIG. 9. Coupe transversale passant par l'axe des deux boîtes.

FIG. 10. Coupe des supports des porte-boudins, montrant le contre-écrou vissé sur la tige de la soupape supérieure.

FIG. 5, 7, 8, 9, 10.

ab. Axe vertical de la petite boîte. C'est la direction du fil à plomb, que

l'on doit faire passer par le centre de cette boîte, pour la poser verticalement.

c d. Axe vertical de la grande boîte.

e f. Paliers des tiges ou tringles des soupapes.

g g. Tringles des soupapes, portées sur le chariot de l'excentrique.

h h. Arbre de ce chariot.

k. Rubinet régulateur.

i. Traverse du chariot.

l. Grande manivelle des soupapes.

m. Petite manivelle des soupapes.

n n. Tuyaux à vapeur des boîtes.

o. Lèvres réservées autour des trous à vapeur, pour joindre plus exactement les cylindres, et laisser un espace suffisant pour le masticage.

p q. Passages de vapeur de la petite boîte.

r. Anneau de tôle ajusté dans le trou d'apport de la vapeur, pour empêcher le mastic de le fermer.

s. Trou d'apport de la vapeur, établissant la communication entre la chemise et la petite boîte.

t t. Espace réservé entre les boîtes et les cylindres pour le masticage.

u. Tuyau à vapeur du condenseur.

v. Arbre de l'excentrique.

x. Tiroir cylindrique de la petite boîte.

y. Tige de la soupape inférieure.

z. Porte-boudins des soupapes et leurs boudins, en fil d'acier fondu.

a'. Soupape supérieure.

b'. Soupape inférieure.

c'. Contre-écrou qui fixe invariablement la tige de la soupape supérieure, dans le support des porte-boudins, et l'empêche de se dévisser.

d'. Tige de la soupape supérieure.

e'. Traverse des porte-boudins qui court dans la douille de la grande manivelle des soupapes.

f'. Massif des colonnes.

g'. Manivelle.

h'. Massif de la manivelle.

i'. Arbre du volant.

m'. Grande plaque des cylindres.

n'. Support du chariot de l'excentrique.

o'. Chariot de l'excentrique.

q'. Manivelle du robinet régulateur.

r'. Grande boîte à vapeur.

s'. Petite boîte à vapeur.

t'. Palier de l'excentrique.

- u'*. Chapeau des porte-boudins.
- v'*. Douille de la grande manivelle des soupapes.
- y'*. Bocal du tiroir cylindrique.
- k'*. Anneau supérieur du tiroir.
- z'*. Anneau inférieur,
- a''*. Massif des cylindres.
- b''*. Position de la manivelle quand elle est horizontale en descendant.
- c''*. Chemise des cylindres, dans laquelle circule la vapeur avant de passer dans les boîtes.

FIG. 6. Coupe sur une plus grande échelle de la petite boîte.

- a*. Douille du tiroir entrée par le haut de la boîte.
- b*. Siège inférieur du tiroir. Il est représenté hors de la boîte en *c*.

FIG. 3. Robinet régulateur (422).

- a*. Manivelle percée d'un trou *e*, destiné à recevoir le prisonnier de la bielle du modérateur : elle est ajustée sur le carré *b*, du robinet, et maintenue par l'écrou.
- b*. Voy. *a*.
- c*. Voy. *a*.
- d*. Tête carrée du robinet.
- f*. Écrou qui serre le robinet dans sa boîte *h*, au moyen du ressort à boudin *g* qu'il renferme.
- h*. Voy. *f*.
- g*. Voy. *f*.

PLANCHE SEPTIÈME.

Régulateur des machines d'Edwards.

FIG. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7. Régulateurs à tiroirs, tels qu'on les construisait à Chaillot pour les machines de vingt chevaux et au-dessous (440).

FIG. 1^{re}. Élévation des cylindres et de l'appareil entier du régulateur, quand la machine est sur l'un de ses centres.

FIG. 2. Élévation latérale du régulateur et de son mouvement d'équerre, dans la même position.

FIG. 3. Coupe de la boîte du grand cylindre et de son tiroir, quand la machine est sur l'un de ses centres.

FIG. 4. Élévation de face de cette boîte, quand la coquille *i* est enlevée, et coupe du tiroir aux deux extrémités de sa course.

FIG. 5. Élévation de face de la boîte du petit cylindre, quand la coquille *i* est enlevée.

FIG. 6. Coupe de la même boîte, de sa coquille et de son tiroir, quand la machine est sur l'un de ses centres.

FIG. 7. Excentrique dans la position où il se trouve au milieu de sa course, son axe de rotation en bas, quand la machine est sur l'un de ses centres.

- a.* Tiroir en bronze dont la tige est liée à la manivelle des soupapes par deux écrous *k l*, et qui établit alternativement la communication dans la grande boîte, entre le trou à vapeur *d* qui mène au condenseur, et les trous *e s* qui conduisent dessus et dessous le grand piston; et dans la petite boîte, entre le trou *g*, qui conduit la vapeur dans la grande boîte et le dessus et le dessous du petit piston, par les conduits *f h*.
- b.* Surface de fonte rodée de la boîte à vapeur, sur laquelle glissent les tiroirs *a*.
- c.* Passage qui conduit la vapeur sur le grand piston.
- d.* Passage et tuyaux qui conduisent la vapeur au condenseur.
- e.* Passage qui conduit la vapeur sous le grand piston.
- f.* Passage qui conduit la vapeur sur le petit piston.
- g.* Conduit qui établit la communication entre la petite et la grande boîte.
- h.* Ouverture qui conduit la vapeur sous le petit piston.
- i i.* Coquilles qui couvrent les tiroirs *a a*.
- k, l.* Écrous qui servent à fixer les tiges des tiroirs *a a* sur la manivelle des tiroirs, et à régler celle-ci.
- m.* Excentrique.
- n.* Arbre du volant.
- o.* Chariot de l'excentrique.
- p, q'.* Bras du mouvement d'équerre.
- r.* Tirant de l'excentrique, qui communique le mouvement à l'équerre *p q*.
- s.* Tringles de l'excentrique.
- t t.* Colonnes dans lesquelles les tringles *s s* montent et descendent.
- u.* Manivelle des tiroirs.
- v.* Chemise des cylindres.
- x.* Tuyau qui amène la vapeur de la chemise *v*, dans la petite boîte, à travers le robinet régulateur.
- y.* Robinet régulateur.
- z.* Tuyau qui établit la communication entre les deux boîtes.
- a'.* Position des tiroirs au haut de leur course, quand les pistons sont au milieu de leur course, en montant, et la manivelle horizontale en descendant.
- b'.* Position des tiroirs au bas de leur course, quand les pistons sont au milieu de leur course en descendant, et la manivelle horizontale en montant.

c'. Contrepoids du mouvement d'équerre.

FIG. 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15. Régulateur à robinet tournant et à soupapes coniques.

FIG. 8. Tracé des positions relatives des principales pièces de la machine quand elle est sur ses deux centres.

FIG. 9. Coupe de la boîte à vapeur suivant *A B*.

FIG. 10. Coupe suivant *C D*.

FIG. 11. Élévation de la boîte à vapeur, et de l'appareil du régulateur.

FIG. 12. Coupe de la boîte à vapeur suivant *G H*.

FIG. 13. Coupe suivant *E F*.

FIG. 14. Excentrique au bas de sa course, la pointe ou le centre de rotation en haut ; la manivelle horizontale en remontant en dedans.

FIG. 15. Excentrique au haut de sa course la pointe en bas, et la manivelle horizontale en descendant.

a. Soupape conique supérieure.

b. Soupape inférieure.

c. Bague de la manivelle *d* des soupapes.

d. Grande manivelle des soupapes, et sa vis de pression.

e. Traverse du porte-boudins.

f. Petite manivelle des soupapes.

g. Robinet distributeur.

h. Robinet d'introduction de la vapeur, ou robinet régulateur.

i. Petit trou du robinet *g*, conduisant la vapeur de la boîte dans le petit cylindre.

k. Passage et conduit à vapeur, communiquant avec le haut du petit cylindre.

l. Grand passage du robinet distributeur, conduisant la vapeur entre les soupapes du grand cylindre.

m. Passage et conduit qui communique avec le bas du petit cylindre.

n. Passage et conduit communiquant avec le haut du grand cylindre.

o. Passage et conduit communiquant avec le bas du grand cylindre.

p. Boudins d'acier fondu qui ferment et ouvrent les soupapes coniques *a b*.

q. Crémaillère qui fait tourner à droite et à gauche le robinet distributeur. Elle est ici au haut de sa course.

r. Tuyau à vapeur du condenseur.

s. Étrier du robinet régulateur, servant à le tenir serré, au moyen d'un écrou *u*, et d'un contre-écrou *t*.

t. Contre-écrou qui empêche l'écrou de se desserrer.

- u.* Écrou qui serre le robinet régulateur.
- v.* Bielle du modérateur.

PLANCHE HUITIÈME.

FIG. 1, 2, 3, 4, 5. Régulateurs des machines à basse pression, de Watt (444).

- a.* Manivelle et bielle.
- b c.* Double tiroir qui ouvre et ferme les conduits à vapeur *m* et *o*.
- d.* Excentrique fixé sur l'arbre du volant.
- e.* Chariot de l'excentrique.
- f.* Tirant de l'excentrique.
- g h.* Bras d'équerre de l'excentrique qui commande le tiroir.
- i k.* Écrous qui servent à régler la longueur du tirant *f*.
- l.* Tuyau d'apport de la vapeur.
- m.* Trou à vapeur communiquant avec le haut du cylindre.
- n.* Tuyau du condenseur.
- o.* Passage de vapeur communiquant au bas du cylindre.
- p.* Bielles du tiroir.
- q.* Tringle du tiroir.

FIG. 6. Coupe et détails d'une pompe de puits (477).

- a.* Piston en bronze, tourné et rodé : la tringle passe au travers, et est boulonnée au-dessous par un écrou.
- b.* Soupape de refoulement, en bronze.
- c.* Soupapes d'aspiration.
- d.* Tuyau d'aspiration en cuivre, avec une pomme d'arrosoir à son extrémité.
- e.* Porte boulonnée, qui permet de visiter, enlever et réparer les deux clapets en peu d'instants, et sans démonter le piston. — Le clapet inférieur *C* passe par l'ouverture du clapet supérieur *b*.
- f.* Tuyau de refoulement en fonte, raccordé avec la chapelle des soupapes par des cougés, pour éviter la contraction de l'eau.
- g.* Boîte à étoupes de la pompe, garnie d'une grosse tresse d'étoupes graissée.
- h.* Chapelle du clapet de refoulement.
- i.* Pièce de bois très forte sur laquelle est boulonnée la pompe.
- k.* Guide du clapet d'aspiration pris dans une petite entretoise, qui maintient la marche du clapet toujours verticale, et ne lui permet pas de déviation. L'autre extrémité du guide est tenue dans une douille formée par la partie inférieure du guide du clapet de refoulement.
- l.* Entretoise du guide *m* du clapet de refoulement.
- m.* Guide du clapet de refoulement.
- o.* Rondelle en cuivre placée au fond de la boîte à étoupes.

FIG. 7, 8, 9 et 10. Machine oscillante de Cavé (551).

FIG. 7. Coupes sur le travers des robinets de distribution. Quand le piston arrivé en haut du cylindre est prêt à redescendre, les passages de vapeur sont tous fermés.

b. Coupe du robinet inférieur. La petite ouverture de la clé qui sert à envoyer la vapeur du tuyau d'arrivée *g* dans le cylindre, est au moment de s'ouvrir sur le passage du cylindre, et d'y envoyer la vapeur pour faire descendre le piston.

a. Coupe du robinet inférieur, où c'est au contraire la grande ouverture, c'est-à-dire, celle qui envoie la vapeur au dehors par le tuyau *P*, qui est en communication avec le passage du cylindre.

FIG. 8. Coupes des deux robinets après la moitié de la course du piston, la détente réglée aux trois cinquièmes de la course.

d. Robinet supérieur. La communication de la vapeur dans le grand cylindre au moyen de la petite ouverture, est sur le point de se fermer, et la détente seule poussera le piston pendant le reste de sa course.

c. Robinet inférieur au milieu de la course du piston. Le dessous du piston est toujours en communication avec l'extérieur par la grande ouverture.

FIG. 9. Les deux robinets quand le piston est au bas de sa course et prêt à remonter. La position est ici inverse de ce qu'elle est *fig. 7*. C'est le robinet inférieur *c* qui, par sa petite ouverture de clé, va envoyer la vapeur sous le piston, et c'est le dessus du piston qui va entrer en communication avec l'air extérieur par la grande ouverture du robinet supérieur.

f. Ces robinets liés ensemble par une tige de fer, sont commandés par un engrenage *l*, *fig. 10*, qui leur donne un mouvement circulaire continu, qui conduit le robinet de droite à gauche en remontant.

M. Cavé donne aujourd'hui à sa machine des tiroirs qui se règlent comme ceux dont nous avons parlé plus haut.

FIG. 10. Coupe sur le travers du cylindre et de la distribution.

g h. Tuyaux qui conduisent aux deux robinets *i k* de distribution, la vapeur arrivée de la chaudière par l'axe de rotation du cylindre *N*.

i. Robinet supérieur de distribution. Dans sa position actuelle, la vapeur à pleine pression, arrive par le tuyau *g*, entre dans le cylindre sur le piston prêt à descendre.

k. Robinet distributeur inférieur, qui en ce moment envoie au dehors par le conduit *p* et l'axe creux *o* la vapeur qui a travaillé sous le piston.

l. Engrenage qui commande les deux robinets distributeurs, prenant son mouvement sur le volant.

m. Cylindre.

n. Axe creux de rotation du cylindre qui reçoit la vapeur de la chaudière.

o. Second axe creux de rotation, qui conduit au dehors la vapeur après son travail.

p p'. Conduits qui envoient au dehors, au moyen de l'axe creux *o*, la vapeur qui a travaillé soit dessus soit dessous le piston.

PLANCHE NEUVIÈME.

FIG. 1 et 2. Élévation et plan d'un palier avec grains ou coussinets en bronze (514 à 516, 545).

FIG. 3. Portion d'engrenage à dents de bois, garni de ses dents (526 et suiv.).

a a a. Dents de bois ajustées dans des mortaises mal divisées, et taillées d'un côté.

b c. Ligne de portée ou cercle primitif, ou cercle de contact de l'engrenage.

d i. Pas de l'engrenage, ou distance du centre d'une dent au centre de la suivante, sur la ligne de portée.

g g. Goupilles qui retiennent les dents dans leurs mortaises.

e m h. Cercle qui détermine la courbure des dents.

FIG. 4. Engrenage de champ à dents de bois, callé sur arbre carré (541.)

a a a. Dents en bois ajustées dans leurs mortaises, et non encore taillées.

L'espace qui les sépare est rempli par des coins, afin de les pouvoir tourner.

b b b. Calles en fer ou en acier.

c c. Fausses calles servant à dresser l'arbre, et à le mettre au rond, avant l'ajustement des calles.

FIG. 5. Calibre pour déterminer l'épaisseur et la courbure des dents en bois d'un engrenage (536.)

FIG. 6. Plan d'une portion d'engrenage de champ, avec les dents tournées et encore pleines, mais déjà divisées, montrant le procédé employé pour reporter les divisions sur toute leur largeur.

a b c d e. Points de division des dents.

f. Rencontre de deux arcs de cercle, dont les centres respectifs sont en *a* et en *e*, et qui déterminent la perpendiculaire *c f*.

FIG. 7. Tracé de l'opération à faire pour déterminer l'inclinaison des dents de bois d'une roue d'angle, quand on la tourne (328.)

a g. Inclinaison du fond des dents de fonte. C'est cette inclinaison que l'on adopte pour celle du haut des dents de bois. Cette inclinaison est la même que celle de la ligne *e g* sur la ligne *e p*.

l h m. Fausse équerre qui sert à mesurer sur la roue que l'on tourne l'inclinaison des dents.

FIG. 8. Calibre pour tracer directement l'épaisseur des dents en bois.

a. Pointe de compas se posant sur le centre de l'engrenage.

b c. Pointes qui vont se reposer sur les centres des deux dents voisines de celles que l'on trace.

d e f g. Flanc de la dent à tailler.

La distance *b c* égale deux fois le pas de l'engrenage.

FIG. 9. Mortaise d'une dent. Son entrée est taillée en cône, pour empêcher la dent de passer au travers. Cette figure indique le procédé à suivre pour mettre une roue au rond et la dégauchir.

a. Ligne de portée de l'engrenage. (270 et 272.)

FIG. 10. Ajustement et brides pour tuyaux à vapeur en cuivre (5n6.)

c d. Brides simples en fer avec 3 ou 4 boulons.

a. Tuyau qui pénètre en *g* jusque dans le tuyau *b*. Le masticage est ainsi plus facile, et on ne s'expose pas à obstruer les tuyaux de mastic.

FIG. 11. Raccord de tuyaux de fonte avec collets boulonnés. On y a réservé une portée dressée pour le masticage.

FIG. 12 et 13. Brides à la Mouffarine. A l'extrémité des deux tuyaux à raccorder *a* et *b*, on brase une rondelle de cuivre rouge, plane d'un côté, et conique en dehors. On joint les deux rondelles par leurs parties planes en les mastiquant, et on les serre ensemble au moyen de deux demi-brides *c d* coupées intérieurement en un cône à sommet plus aigu que celui des rondelles; deux vis à la romaine *e f* en rapprochant les deux demi-brides l'une de l'autre, pressent les deux rondelles et serrent le joint. Cet ajustement est excellent et parfaitement sûr.

FIG. 14. Appareil d'alimentation par le vide dit *monte-jus* (354).

a. Tuyau de vapeur.

b. Tuyau par lequel on laisse couler l'eau montée dans la chaudière.

c. Tuyau d'aspiration.

d. Cylindre en tôle.

e. Robinet d'air.

f. Réservoir dans lequel on puise l'eau d'alimentation; il ne doit pas être à plus de 5 m. au-dessous de l'appareil.

PLANCHE DIXIÈME.

FIG. 1, 2 et 3. Appareil distributeur pour alimenter d'une manière continue la grille d'un fourneau. (181).

FIG. 1. Élévation de face du fourneau montrant les engrenages qui conduisent les trois cylindres cannelés *a a' a''* de distribution commandés par un arbre *b* et des vis sans fin.

c c' c''. Trémies que l'on remplit de houille.

d d. Bouilleurs de la chaudière.

e. Porte du foyer.

f. Cendrier.

FIG. 2. Coupe sur le travers du foyer, des cannelés et de la trémie.

h. Grille.

ii. Maçonnerie du fourneau.

FIG. 3. Coupe longitudinale de l'appareil et du fourneau.

g. Chaudière à vapeur.

k. Roue placée sur l'arbre *b* et commandée elle-même par une vis sans fin, et par l'arbre et les poulies *l* qui reçoivent le mouvement de la machine à vapeur par une courroie; trois poulies y sont établies, afin de pouvoir changer au besoin la vitesse des cannelés, et par conséquent le réglage de l'alimentation de la grille.

FIG. 4, 5 et 6. Procédé de M. Galy-Cazalat contre les explosions des générateurs. (315).

FIG. 4. Application de ce procédé à une chaudière à foyer intérieur pour locomotive.

FIG. 5. Application à une chaudière cylindrique.

a. Disposition pour prévenir les explosions qui pourraient être occasionnées par des dépôts formés à l'endroit du coup de feu.

B. Disposition destinée à la prévenir dans le cas où la chaudière viendrait à rester à sec et à rougir au-dessous du niveau des carneaux latéraux.

FIG. 6. Détails du tube et du cône fusible de sûreté à une échelle de $\frac{1}{100}$.

FIG. 7. Frein portatif de Morin. (715.)

Ce frein, destiné à être transporté et posé à volonté sur les arbres des moteurs à essayer, est composé de deux demi-cercles en fonte tournés *h*, formant une poulie, boulonnés ensemble par des oreilles, et qui se fixent sur l'arbre de fonte *a* au moyen de six vis *III P*, qui servent à l'y centrer avec les plus grands soins.

- a.* Arbre du moteur à essayer.
- b b.* Levier du frein en bois de sapin.
- c c.* Collier en fer qui embrasse la poulie de fonte *h*.
- d d.* Boulons de serrage du collier *c*.
- e.* Coussinet en bois qui frotte sur la poulie, et doit être arrosé d'eau constamment.
- f.* Plateau de balance et poids.
- i.* Point de suspension des poids.
- h.* Poulie en fonte composée de deux segments boulonnés.
- II.* Vis de centrage de la poulie.
- m m.* Boulons d'accouplement des segments de la poulie.

FIG. 8, 9 et 10. Coupe, élévation et plan de la pompe alimentaire de Séguier. (341).

- a.* Piston plein en fer forgé ou en bronze tourné.
- b.* Corps de pompe boulonné sur une pièce de bois, ou sur une plaque de fonte.
- c.* Boîte à étoupes.
- d.* Tuyau d'aspiration.
- e.* Clapet d'aspiration en brouze.
- f.* Passage par où l'eau aspirée par le tuyau se rend dans le corps de pompe.
- g.* Chapeau de la soupape d'aspiration, maintenu par l'étrier à charnière et la vis de pression *h*. Ce chapeau permet de dresser à la lime le siège des clapets.
- h.* Etrier qui, quand on veut démonter le chapeau pour nettoyer le clapet ou le rôder, bascule sur ses goujons, comme on le voit en *h'* fig. 10.
- i.* Passage et clapet de refoulement.
- k.* Chapeau et étrier du clapet de refoulement.
- l.* Tuyau de refoulement.
- m n.* Détails des clapets dévissés. La partie supérieure *m* peut alors se rôder facilement, et la queue *n* sert de guide au clapet.
- o.* Plan de la queue du clapet.

FIG. 11 et 12. Coupe sur le travers et sur la longueur du générateur de Lemare. (152.)

- a.* Foyer.
- b b b.* Enveloppes concentriques remplies d'eau qui entourent le foyer.
- b' b'.* Enveloppes concentriques remplies d'eau qui entourent la fumée, et la forcent ainsi à circuler entre de larges surfaces refroidissantes.
- b'' b''* Récipient supérieur rempli d'eau, et dans lequel passe le tuyau par lequel la fumée s'échappe au dehors.

- c.* Tuyau de vapeur.
- d.* Tube de niveau d'eau.
- e.* Coudes qui établissent la communication entre le récipient inférieur *b'*, et le récipient supérieur *b''*.
- f.* Tuyau de fumée.

FIG. 13. Soupape conique pour la fermeture de gros tuyaux à vapeur, en remplacement des robinets à clé qui, quand ils ont un grand diamètre, sont très durs à manœuvrer, et par le refroidissement, deviennent quelquefois impossibles à ouvrir.

- a.* Clapet conique qui ferme le passage.
- b.* Communication avec la chaudière.
- c.* Tuyau dans lequel doit passer la vapeur.
- d.* Vis à manivelle qui sert à monter et descendre le clapet conique.
- e.* Boîte à étoupes qui embrasse la vis.

FIG. 14. Chaudière *E* des expériences de Wessertling, avec les dimensions des fourneaux à houille et à bois. (109-135.)

PLANCHE ONZIÈME.

Chauffage de la filature de lin de Gerville (Seine-Inférieure). (284.) Machine de 30 chevaux.

FIG. 1^{re}. Coupe sur le travers du bâtiment de la filature, et de celui de la machine et des chaudières.

FIG. 2. Coupe sur la longueur du bâtiment de la filature.

FIG. 3. Plan général de l'établissement.

FIG. 4. Détails du chauffage de l'eau d'alimentation de la machine à vapeur.

FIG. 5. Détails du chauffage des ateliers par la circulation de l'eau chaude.

FIG. 6. Détails d'un raccord à vis pour le tuyau d'échappement de vapeur.

- a* Tuyau d'échappement de vapeur de la machine qui chauffe l'eau d'alimentation et celle de circulation des ateliers.
- b.* Tuyaux d'enveloppe en fonte, dans lesquels vient se chauffer l'eau d'alimentation des chaudières.
- c.* Tuyau qui amène dans le tuyau de fonte *b* l'eau d'un réservoir supérieur.

- d.* Tuyau d'aspiration de la pompe alimentaire.
- e.* Tuyau qui fait communiquer ensemble les deux portions *b*.
- f.* Pompe alimentaire de la machine.
- g.* Bride à la Mouffarine pour raccord du tuyau de vapeur *a*.
- h.* Raccord à brides du tuyau *a* et du tuyau *b*.
- i.* Raccord des mêmes par une boîte à étoupes brisée.
- k.* Robioet pour vider l'eau condensée dans le tuyau *a*.
- l.* Caniveau dans lequel passe le tuyau d'échappement *a*, sous l'atelier du rez-de-chaussée.
- m.* Comble du bâtiment.
- n.* Colonne montante de chauffage en fonte de 0m.22 diamètre. Le tuyau *a* y passe intérieurement, chauffe l'eau qu'elle contient, détermine la circulation dans les tuyaux *p p' p''*.
- o.* Colliers scellés dans le mur pour soutenir la colonne montante *n*.
- p.* Tuyau de chauffage à circulation du rez-de-chaussée.
- p'.* Tuyau de chauffage du 1^{er} étage.
- p''.* Tuyau de chauffage du 2^e étage.
- q.* Colonne descendante de circulation.
- r r' r''.* Clefs pour régler la circulation aux trois étages.
- s.* Réservoir à eau placé dans le comble au niveau supérieur de la colonne montante *n*, y entretenant un niveau d'eau constant, au moyen d'un petit tuyau *t* du robinet.
- t.* Tuyau de communication du réservoir à la colonne montante.
- u.* Escalier général des ateliers.
- v.* Tuyau d'échappement d'air du chauffage à circulation.
- x.* Cheminée des chaudières à vapeur.
- y.* Chambre de la machine à vapeur.
- z.* Fourneaux et chaudières.
- a'.* Séchoir pour les fils, placé au-dessus des fourneaux et chauffé par leur chaleur perdue.
- b'.* Gaine en bois servant à faire appel dans le séchoir, en le mettant en communication avec une cheminée d'airage, accolée à la cheminée des chaudières.
- c' c'.* Arbre vertical, et arbre de couche de la filature.
- d'* Puits de l'établissement à 120 mètres de profondeur.
- e'.* Massif de la machine.
- f.* Fosse du volant et des engrenages de commande.
- g.* Forge, tour, menuiserie, logement du chauffeur, etc.

PLANCHE DOUZIÈME.

FIG. 1^{re}. Plan de l'un des fours à puddler des forges de Sionne, département des Vosges, et d'un fourneau de chaudière à vapeur établi à sa suite (251.)

La ligne de coupe de ce plan passe au-dessus de la grille et de la sole du four, et dans le premier carneau du fourneau, au-dessous des bouilleurs.

FIG. 2. Coupe longitudinale du même four, avec chaudière et fourneau à la suite, et avec leur cheminée commune.

FIG. 3. Coupe transversale de la chaudière et du fourneau sur le milieu de leur longueur.

FIG. 4. Coupe transversale des mêmes à l'aplomb des eulottes des bouilleurs montrant la manière dont le carneau les contourne.

FIG. 5. Coupe transversale des mêmes sur le devant, en *k k'* à l'endroit où le carneau remonte en s'évasant au-dessus des bouilleurs.

a. Premier carneau du fourneau sous les bouilleurs.

b. Four à puddler.

b'. Petit four à chauffer les gueusots.

c. Bouilleurs de la chaudière.

d. Chemise intérieure du fourneau en briques réfractaires.

e. Voûte à la suite du four, qui conduit horizontalement la flamme sous les bouilleurs.

f. Sole du carneau inférieur *a* en briques réfractaires.

g. Corps de la chaudière et niveau de l'eau, au-dessus du niveau du deuxième carneau.

h. Bouche des bouilleurs, placée hors du fourneau.

i. Cheminée commune au four et au fourneau, élargie pour fourneau à vapeur.

AA'. Élargissement du carneau *a* à droite et à gauche des bouilleurs, pour conduire la fumée au-dessus de ces bouilleurs, sans en gêner le mouvement.

l. Petit mur en biseau et en talus, placé au milieu du fourneau, pour partager le courant de fumée en deux courants latéraux.

m. Deuxième carneau passant entre les bouilleurs et la chaudière.

n. Partie supérieure du petit mur *l* destinée au même objet.

o. Passage direct de la flamme des fours dans la cheminée, sans circulation autour de la chaudière, et cheminée inférieure qui a conservé la dimension d'une cheminée de four.

p. Régistre qui ferme à volonté le passage, quand on veut envoyer la flamme sous la chaudière.

- q. Registre qui ferme l'entrée du carneau *a*, quand on envoie directement la flamme du four dans la cheminée par le passage *o*.
- r. Foyer additionnel établi sous la chaudière, afin de pouvoir la chauffer directement en cas de besoin. Ce foyer est fermé avec un rang de briques réfractaires mises à champ, et que l'on enlève au besoin.

FIG. 6 Coupe longitudinale d'un carneau sortant par le dessus du four à puddler, et entrant sous une chaudière placée au-dessus du four, sur des plaques et des colonnes de fonte (278.)

- a. Voûte réfractaire qui reçoit la première action des jets de flamme, et les renvoie horizontalement sous les bouilleurs pour éviter de les brûler.

PLANCHE TREIZIÈME.

FIG. 1^{re} Coupe longitudinale de l'une des chaudières à basse pression du steamer *le Rollon* (191).

FIG. 2. Élévation de face de l'une des chaudières, et coupe transversale, sur le travers du foyer, de la seconde.

FIG. 3. Plan des deux chaudières; la ligne de coupe passant au-dessus des grilles, des foyers, de l'autel, et dans les carneaux de circulation.

- a. Chaudière de gauche, en tôle, formant moitié de l'appareil.
- b. Chaudière de droite.
- c d c' d'. Foyers des deux chaudières.
- e e'. Autels en briques, derrière les foyers.
- ff'. Carneaux de circulation de chacune des chaudières, remontant tous deux dans la cheminée commune *g*.
- g. Cheminée en tôle de fer.
- h. h'. Grilles inclinées des foyers, avec deux rangs de barreaux en fonte.
- i. Réservoir de vapeur commun aux deux chaudières.
- k. Tuyau à vapeur qui établit la communication entre les chaudières et la machine.
- l. Balancier et contrepoids du flotteur. Ce flotteur est fixé ainsi à un levier horizontal, afin que le roulement du navire et les coups de mer ne le puissent pas briser ou dérégler.
- m. Trois robinets de niveau d'eau servant de contrôle au flotteur (335).
- n. Bouches et portes des foyers garnies en briques réfractaires.

- o.* Magasin de houille, ouvert sur le pont, et ayant au bas une trappe pour le service du chauffeur.
- p.* Niveau de l'eau dans la chaudière.
- q.* Pont du navire.
- r.* Cendrier.
- s.* Tuyau de décharge des chaudières.
- t.* Trous d'hommes pour le nettoyage des chaudières.
- n.* Tuyau de décharge de la vapeur.

FIG. 4. Coupe transversale d'une locomotive (206).

FIG. 5. Coupe longitudinale de la même.

- a.* Foyer avec sa grille à barreaux minces.
- b.* Parois en cuivre du foyer, ou surface directe de chauffe.
- c.* Corps de la chaudière en cuivre.
- d.* Tubes en cuivre, traversant l'eau de la chaudière, et dans lesquels passe la flamme du combustible, ou surface indirecte de chauffe.
- e.* Cheminée en tôle de fer.
- f.* Enveloppe extérieure de la chaudière en cuivre, boulonnée fortement avec la paroi *b* du foyer, pour résister à la pression intérieure.
- g.* Trou d'homme.
- h.* Tuyau à vapeur qui la prend dans un petit réservoir au-dessus du foyer, et la conduit au dedans de la chaudière jusqu'au cylindre *i*.
- i.* Cylindres et pistons travaillants de la locomotive.
- k.* Bielles des machines.
- l.* Essieu coudé à deux manivelles, recevant le mouvement des deux pistons transmis par les bielles *k*.
- m m'.* Roues de la locomotive : *m'* est la roue qui reçoit le mouvement des cylindres.
- n.* Robinet régulateur.
- o o'.* Niveau de l'eau dans la chaudière.
- p.* Tuyau d'échappement de vapeur qui détermine le tirage dans la cheminée *e*.

FIG. 6 et 7. Foyers à flamme renversée.

FIG. 6. Coupe d'un alandier à la houille (142).

- a.* Intérieur du four à terre de pipe.
- b.* Carneau de communication du foyer avec le four.
- c.* Briques à claire-voie fermant le cendrier, et servant de grille.
- d.* Bouche du foyer, fermée à volonté par un carneau de brique.

FIG. 7. Alandier au bois pour four à porcelaine (143).

- g.* Carneau de communication du foyer au four.

- f.* Intérieur du four.
- h.* Cendrier,
- i.* Porte du cendrier.
- k.* Bois rangé sur l'alandier et brûlant par dessous.

PLANCHE QUATORZIÈME.

FIG. 1. Elévation d'une machine à vapeur à détente et à condensation de M. J.-F. Saulnier (450).

FIG. 2. Coupe passant par le milieu du cylindre, des tiroirs de distribution et de détente, du condenseur et de sa bêche.

- a.* Arbre du volant.
- bcc.* Engrenages portant les manivelles de commande des deux tiroirs.
- d.* Boîte et tiroir de distribution.
- f.* Boîte et tiroir de détente.
- g.* Mouvement d'équerre qui commande le tiroir de distribution.
- h.* Mouvement d'équerre qui commande le tiroir de détente.
- i.* Bielle du tiroir de détente.
- k.* Bielle du tiroir de distribution.
- l.* Cylindre et piston à segments métalliques.
- m.* Tige du tiroir de distribution.
- n.* Condenseur.
- o.* Bêche du condenseur.
- p.* Tige du tiroir de détente.
- q.* Robinet régulateur.

FIG. 3. Tracé des positions successives du piston, des tiroirs de distribution et de détente et de leurs deux manivelles, pendant une demi-oscillation du piston, divisée en huit temps égaux, et donnant la marche de la détente, avec l'affaiblissement de la tension de la vapeur.

- aaa.* Boîte de détente où la vapeur se trouve toujours à pleine pression.
- bbbb.* Boîte de distribution avec vapeur à pleine pression pendant les quatre premiers temps de la course.
- cdef.* La même boîte avec la vapeur à tension dégradée pendant les quatre derniers temps.
- g' g''—g⁸.* Engrenage et manivelle du tiroir de distribution à chacun des huit temps.
- h' h''—h⁸.* Engrenage et manivelle du tiroir de détente à chacun des huit temps.
- i i''—i⁸.* Positions successives du tiroir de distribution.
- h' k''—k⁸.* Position du tiroir de détente.

l' l' — l'. Position du piston.

m. Passage supérieur de vapeur.

n. Passage de vapeur qui se rend au condenseur ou au dehors.

o. Passage inférieur.

p. Arrivée de vapeur.

FIG. 4 et 5. Chauffage d'un réservoir à eau, par la fumée d'une chaudière à vapeur aux bains russes (249).

a. Fourneau de la chaudière à vapeur.

b. Tuyau de fumée en tôle qui serpente dans le réservoir à eau, et qui y est boulonné.

c. Réservoir à eau en tôle.

d. Cheminée où se rend obliquement le tuyau de fumée après avoir traversé le réservoir.

e. Carneau et trémie du fourneau *a*, sur lequel est ajusté le tuyau *b*.

f. Clef pour régler le tirage du fourneau.

PLANCHE QUINZIÈME.

ÉLEVATION D'UNE MACHINE A VAPEUR DE 8 CHEVAUX A 2 CYLINDRES.

a. Massif des cylindres.

b. Massif des colonnes.

c. Perron et escalier qui conduisent à la machine.

d. Massif de la manivelle.

e. Fourneau de la chaudière *a''* qui fournit la vapeur à la machine. Ce fourneau est complètement enterrié, on y descend par un escalier *p''*.

f. Porte et escalier conduisant dans les ateliers. Il se trouve une autre porte en face qui communique à la chambre des fourneaux.

g. Tuyau d'apport de la vapeur.

h. Grand cylindre.

i. Petit cylindre.

kk. Plateaux du petit et du grand cylindre.

ll. Robinets de graissage des plateaux.

mm. Boîtes à étoupes des plateaux avec leurs vis et leurs écrous.

nn. Tringles de l'excentrique.

o. Grande manivelle des soupapes.

p. Petite manivelle.

q. Tige du grand piston.

r. Tige du petit piston.

- s. Robinet de décharge de la chemise, pour l'écoulement de l'eau condensée.
- t. Colonne du parallélogramme.
- u. Bras de la colonne.
- v. Traverse de la colonne.
- x. Bras du grand piston.
- y. Bras du petit piston.
- z. Bras du condenseur.
- a'. Tringle du condenseur.
- b'. Clavette et tige du piston du condenseur.
- c'. Corps de pompe du condenseur.
- d'. Chemise du condenseur.
- e'. Tuyau d'écoulement de l'eau de condensation.
- f'. Bâche du condenseur.
- g'. Trop plein de la bâche.
- h'. Tuyau à vapeur du condenseur.
- i'. Balustre, manivelle et équerre du robinet d'injection
- k'. Chapeaux du balancier.
- l'. Boules du balancier.
- m'. Balancier.
- n'. Supports et palier du balancier.
- o'. Entablement.
- p'. Colonnes.
- q'. Grande plaque des cylindres et des colonnes.
- r'. Modérateur.
- s'. Bielle.
- t'. Tête de la bielle avec ses grains, sa frette et ses clavettes.
- u'. Manivelle.
- v'. Arbre du volant.
- x'. Prisonnier de la manivelle, son grain et sa clavette.
- y'. Grands boulons qui relient la grande plaque et le palier de la manivelle aux massifs.
- z'. Palier de la manivelle.
- a''. Volant.
- b''. Pompe alimentaire.
- c''. Tuyau d'aspiration de la pompe alimentaire.
- d''. Tuyau d'injection de la pompe alimentaire.
- e'' e''. Arbre de commande de l'excentrique.
- f'' f''. Tringles et tiges de la pompe de puits.
- g''. Pompe de puits.
- h''. Piston de la pompe de puits.
- i''. Tuyau d'aspiration.
- k''. Tuyau de refoulement.

l'. Chapelle de la pompe de puits.

m''. Madrier sur lequel repose la pompe de puits : il est scellé dans le mur du puits.

n''. Planches qui ferment le puits.

o''. Puits.

p''. Plancher de la chambre de la machine,

q''. Murs du puits.

r''. Escalier qui conduit au foyer du fourneau.

s''. Cheminée.

t''. Registre.

u''. Chaudière.

FIN.

TABLE DES MATIÈRES.

Articles.		Pages.	Désignation des planches.
	Errata.	4	
	Note sur la seconde édition.	5	
	Observations préliminaires.		
	PREMIÈRE PARTIE.		
	DES CHAUDIÈRES ET DES FOURNEAUX.		
1	Nécessité pour les mécaniciens de connaître la construction des fourneaux.	13	
2	Bases de nos principes de construction.	15	
	<i>Chaudières à vapeur ou générateurs.</i>		
3	Nature et forme des chaudières.	16	
4	Essais tentés pour modifier leur forme.	17	
7	Chaudières à fond concave.	19	<i>Pl. 2, fig. 3, 5.</i>
8	Action du feu sur une surface horizontale.		<i>Fig. 1.</i>
9	Elles résistent mal à la pression extérieure.		<i>Pl. 3, fig. 5.</i>
10	Carneaux intérieurs.	20	
12	Chaudières cylindriques.	22	<i>Pl. 1, fig. 1, 3, 5.</i>
13	Des bouilleurs.		<i>Pl. 2, fig. 3.</i>
16	Chaudières de fonte.	24	<i>Pl. 1, fig. 5.</i>
18	Masticage des bouilleurs.	25	
	<i>Accidents qui arrivent aux chaudières.</i>		
24	Accidents des bouilleurs.	28	
22	Fentes des bouilleurs en fonte.	29	
24	Plaque intérieure boulonnée.	30	
25	Procédé de Pauly.	34	
26	Accidents des bouilleurs de tôle.	33	
27	Réparations des bouilleurs, et chaudières de tôle ou de cuivre.		
28	Moyens d'arrêter en marchant de légères fuites.	34	
29	Changement des bouilleurs.		<i>Pl. 1, fig. 1, 3.</i>

Articles.	<i>Dimensions des chaudières à vapeur.</i>	Pag.	Désignation des planches.
22	Quantité de vapeur que fournissent les diverses chaudières.	56	
33	Principes des ingénieurs anglais.	37	
34	Influence de la nature du métal.		
35	Influence de l'épaisseur du métal.		
36	Épaisseurs légales des générateurs (note 14).	58	
37	Influence de la forme des chaudières.	59	
40	Chaudières à fond plat.	40	Pl. 2, fig. 3, 5.
42	Chaudières cylindriques à bouilleurs.	44	Pl. 4, fig. 1, 2.
43	Dangers des dimensions trop faibles.	42	
44	Proportions à adopter pour les générateurs.		
47	Du rapport entre la surface directe et la surface indirecte de chauffe.	44	Pl. 40, fig. 44.
50	Du peu de produit des carneaux.	45	
52	Deux chaudières de Wesseling.	47	
55	Rapports à adopter.	48	
54	Produits des générateurs sur les steamers.		
55	Produit des générateurs des locomotives.		
56	Du plus grand produit que puisse donner une surface de chaudière.	49	
57	Rapports de la surface de chauffe à la surface totale.		
59	Choix du métal.	50	
60	Chaudières en cuivre à bouilleurs.		
61	Des deux chaudières du palais de l'Institut.	54	
62	Meilleure forme des chaudières de cuivre.		
63	Des chaudières de tôle.	52	
64	Comparaison du prix des chaudières de cuivre et de tôle.		
	<i>Fourneaux.</i>		
65	Nécessité de bons fourneaux.	55	
66	Progrès de la science des fourneaux.	54	
67	Travaux de la Société d'encouragement.		
69	Conditions auxquelles doit satisfaire un bon fourneau.	55	
70	Excès de puissance que doivent avoir les fourneaux.	56	
72	Éléments d'un fourneau; son principe.	57	
73	Réduction de la grille.		
74	Augmentation de la grille (note 46.)	58	
75	De la section des carneaux.		
77	Résumé des principes posés.	59	
78	Ouverture de la cheminée et des carneaux.	60	
80	Rapport donné par M. d'Arcet.	61	
81	De la combustion complète de la fumée.		
82	Proportions de la cheminée et des carneaux.	62	
85	Des cheminées communes à plusieurs fourneaux.	63	
84	Large cheminées anglaises.		
85	Dispositions nécessaires au tirage des fourneaux placés sur une cheminée commune.	65	
86	De la cheminée.	64	
88	Du peu d'influence de la hauteur de la cheminée sur le tirage (note 1).	65	
89	Expériences de M. Péclot sur les cheminées.	66	
90	Forme des cheminées.	67	Pl. 11, fig. 1, 2.
91	Chapeau de tôle sur les cheminées.		
92	Inconvénients des carneaux trop longs.		
94	Deux chaudières d'une saline à Liège.	69	
95	Chaudières de la saline de Dieuze.		
96	Fourneaux de concentration à quatre chaudières.	70	
97	Effets des larges cheminées.		
98	Du rapport entre la surface de chauffe et la section des carneaux de la cheminée.	71	

Articles.		Pag.	Désignation des planches.
99	Des fourneaux trop puissants pour le générateur.		
100	Des cheminées de tôle et de cuivre et de leurs proportions.	72	
101	Cheminées en fonte.	73	
102	Cheminées en tôle et en cuivre.		
103	Cheminées en poteries.		
104	Carneaux en métal.		
105	Carneaux en briques.		
106	Registres et clefs.	74	
107	Influence de la surface des grilles (note 16).		
109	Rapport de la grille à la section de la cheminée.	75	
111	Des barreaux de grille.	76	Pl. 1, fig. 1, 2.
113	Nature des barreaux.	77	Pl. 2, fig. 1, 5.
114	Du cendrier.		
117	De l'autel.	79	
118	Élévation de la chaudière au-dessus de la grille.		
119	Des portes.	80	
120	Des foyers.		
121	Fourneau d'une machine de Woolf de huit chevaux.	81	Pl. 1, fig. 1, 2.
125	Carneaux.	83	
126	Cheminée.		
127	Grille.		
130	Chaudière à trois bouilleurs.	85	Pl. 1, fig. 5.
131	Foyer qui enveloppe les bouilleurs.		Fig. 4.
132	Fourneaux de chaudière à fond plat.		Pl. 2, fig. 3, 4, 5.
134	Fourneaux destinés à brûler du bois ou de la tourbe.		Fig. 1, 2.
136	Dimensions adoptées par divers constructeurs.	86	
137	Dispositions des foyers.	87	
138	Proportions à adopter.	88	
140	Foyers à flamme renversée.	89	
141	Foyers à flamme renversée sans grille.	91	Pl. 13, fig. 6, 7.
142	Alandiers à houille.		
143	Alandiers au bois.		
144	Four Scillig pour la fabrication du gaz à l'eau.	93	
145	Fourneaux au-dessous du niveau de la machine.		
146	Fourneaux enterrés.		
147	Surveillance des constructions de fourneaux.	91	
	<i>Générateurs à foyer intérieur.</i>		
148	Leurs plus importants emplois.	95	
149	Foyers au centre de la masse d'eau.		
150	Foyer pour chauffage d'eau où le feu s'éteint.	96	
151	Danger de refroidissement des foyers.	97	
152	Générateur Lemare.		Pl. 10, fig. 11, 12.
154	Chaudière-Beslay.	98	
155	Générateur-Segulier.	99	
156	Inventions sur le même objet.		
	<i>Incrustation et nettoyage des chaudières.</i>		
157	Moyens de les empêcher.		
158	Fréquence des nettoyages.	100	
159	Tuyau plongeur.	101	
161	Machine à nettoyer, de Scott.		
162	Emploi des pommes de terre contre les incrustations.	102	
164	— Verre pilé.	103	
165	— Plombagine, sulf., substances gélatineuses.		

Articles.		Pag.	Désignation des planches.
166	— Argile.		
168	Nétoyage régulier des chaudières.	404	
170	Vider la chaudière froide.	405	
171	Procédé expéditif pour vider une chaudière.		
172	Nétoyage par l'acide chlorhydrique (note 3).	406	
173	Influence des dépôts.	408	
174	Dépôts formés en un mois.		
	<i>Foyers dits fumivores.</i>		
175	Causes de la fumée.	409	
177	Fourneau de Lefroy.		
179	Perte donnée par les appareils fumivores.	410	
180	Moyens d'atteindre le but.	411	
	<i>Foyers à alimentation continue.</i>		
181	Foyers à grille tournante.	412	Pl. 40, fig. 4, 2, 3.
183	Défauts des procédés de ce genre.	412	
	<i>Bateaux à vapeur.</i>		
184	Système des générateurs.	413	
186	Générateurs à haute pression.	414	
187	— à foyers extérieurs.		
188	Briques poreuses.	415	
189	Fourneau et chaudière de Cavé.		
190	Générateurs à foyers intérieurs.		
191	Chaudières de steamers à basse pression.	416	Pl. 15, fig. 4, 2, 3.
192	Comparaison de diverses chaudières.		
195	Dimensions du Madagascar pareilles aux nôtres.	418	
194	Chaudière de Elysha Collier.	419	
195	Grilles.	420	
196	Vapeur au mètre carré.		
197	Chaudière de La Beva.	21	
198	Maintenir l'eau au-dessus des carneaux inté- rieurs.		
199	Utilité des cloisons dans les steamers.	422	
200	Consommation de houille.		
201	Expérience de Watt.		
202	Consommation du Lemann.		
203	Consommation des machines à haute pression.	423	
204	Machines à deux cylindres.		
205	Nétoyage à l'arrivée.		
	<i>Locomotives.</i>		
206	Conditions premières, légèreté, petit volume.		Pl. 43, fig. 4, 5.
207	Chaudières tubulaires.	424	
208	Emploi forcé du coke.		
209	Nécessité d'un tirage artificiel.		
210	Tirage par ventilateur.		
211	Tirage par jet de vapeur.	425	
212	Effets obtenus. Comparaison de diverses lo- comotives.	427	
213	Résultats comparés.	427	
214	Rapide destruction de ces appareils.		
215	Dépenses d'entretien sur le chemin de Li- verpool.	428	
216	Dépenses d'entretien sur le chemin de Dar- lington.		
217	Dimension des grilles destinées au coke.	429	
	<i>Combustibles.</i>		
218	Houille (note 3).	430	
220	Diverses qualités pour fourneau.	431	

Articles.		Pag.	Désignation des planches.
221	Coke.	152	
222	Bois.		
223	Qualités diverses	153	
224	Tourbe.		
225	Carbonisation après compression.	154	
226	Puissance calorique.		
227	Lignite.	155	
228	Tannée.	156	
229	Tableau comparatif des pouvoirs calorifiques des principaux combustibles.		
	<i>Effet utile du combustible.</i>		
230	Procédés destinés à utiliser la chaleur perdue des cheminées.	157	
231	Chaleur totale à obtenir de la houille.	158	
232	Prix du tirage à basse pression.		
233	— sous chaudières de plomb.		
234	— dans les foyers d'habitation.		
235	— dans le travail du fer.	159	
236	Valeur du combustible perdu en France, en Belgique et en Angleterre.	159	
237	Tirage par les cheminées.		
238	Autres procédés.	160	
239	Tirage par l'air brûlé refroidi.		
240	— par une cheminée placée avant la chaudière.	161	
241	— par un jet de vapeur.		
242	Conditions pour qu'il soit utile.	162	
243	Tirage par ventilateur.		
244	Seconde chaudière à la suite.	163	
245	Chauffage d'atelier par la fumée.		
246	— d'un réservoir de bains par la fumée.	164	
	<i>Chaudières à vapeur chauffées par la chaleur perdue des fours à puddler et à réchauffer.</i>		
251	Premiers essais.		
252	Des fours à puddler et à réchauffer.	165	
253	Sortie des fours.	166	
254	Dimension des chaudières.	167	Pl. 13.
255	Fourneau.	168	
256	Carneaux et cheminée.		
257	Passage direct à la cheminée.		
258	Élargissement des carneaux en s'éloignant du foyer.	169	
259	Expériences de M. Championnière.		
260	Détails d'un fourneau.		
261	Cheminée.	171	
262	Résultats.		Fig. 1, 2, 3, 4, 5.
263	Produits des deux fours.	172	
264	Foyer additionnel.	173	
265	Chaudières au-dessus des fours.	174	Fig. 6.
266	— sur un haut fourneau.	175	
267	Emploi de la vapeur perdue d'une machine.		
268	Chauffage de l'eau d'alimentation.		
269	Mauvaises dispositions.	176	
270	Bonnes dispositions.		
271	Chauffage de la filature de lin de Gerville, par circulation.	177	Pl. 14, fig. 4.
272	Proportions de l'appareil.	178	Fig. 1, 2, 3, 5, 6.
273	Chauffage des ateliers.	179	
274	Marche de l'appareil.	180	
275	Ses avantages.	181	
276	Air dégagé.		
277	Chauffage d'atelier par l'eau de condensation.	182	
278	Dimension des tuyaux.	183	
279	Prix de l'appareil.		
280	Injection de vapeur dans les foyers.	183	

Articles.		Pag.	Désignation des planches.
301	Injection d'air par ventilateur (Joordan frères).	166	
	<i>Explosions.</i>		
302	Par excès de pression.	167	
303	Par manque d'eau.		
304	Par dépôts formés et mauvaise construction.	169	
306	Mesures prises contre les explosions.	171	
	<i>Soupapes de sûreté.</i>		
310	Causes de fuite de la vapeur par les soupapes (notes 6, 7 et 13).	173	Pl. 3, fig. 1, 2, 9.
	<i>Rondelles fusibles (note 13).</i>		
313	Procédé Ed. Hall.	176	
315	Procédé Galy-Cazalat.		
316	Composition des rondelles fusibles (note 11).	177	
	<i>Manomètres.</i>		
318	Construction des manomètres.	178	
319	Manomètre à basse pression.		Pl. 5, fig. 4.
320	Manomètre à haute pression.	179	Fig. 5, 6.
321	Graduation des manomètres (note 12).	180	
323	Robinet nécessaire.	182	
327	Manomètre à air libre.	184	Fig. 7.
	<i>Reniflards.</i>		
329	Moyens employés contre le vide des chau- dières.	186	Fig. 3.
	<i>Flotteur.</i>		
330	Conditions d'un bon service.		
333	Soulèvement de l'eau du générateur.	189	Pl. 1, fig. 1.
335	Robinets de niveau.	190	
DEUXIÈME PARTIE.			
ACCIDENTS QUI ARRIVENT A CHACUNE DES PIECES DES MACHINES. LEURS SYMPTOMES ET LEURS REMÈDES.			
	<i>Pompe alimentaire.</i>		
336	Alimentation.	192	Pl. 5, fig. 2.
337	Alimentation à basse pression.	193	
338	Alimentation continue à haute pression.		Fig. 6.
339	Inconvénients de cet appareil à niveau con- stant.	194	
340	Régularité nécessaire dans l'alimentation.	195	
341	Pompe alimentaire de Segnier.		Pl. 40, fig. 8, 9, 10.
342	Dérangements de la pompe alimentaire.	196	
343	Précautions à prendre quand le flotteur est trop bas pour marquer.	197	
344	Des robinets d'injection et d'aspiration.	198	
345	Nettoyage des soupapes.		
346	Engorgement du tuyau d'aspiration.	199	
347	De l'usage des soupapes.		
348	Emploi de l'eau du condenseur.		
349	Des chocs que donne la pompe alimentaire.	200	
350	De l'air aspire par la pompe alimentaire.	201	

Articles.		Pag.	Désignation des planches.
332	De la boîte à étoupes.		
333	Aceumulation de l'air dans les tuyaux.	202	
334	Appareil d'alimentation sans moteur; monte- jus des sucreries.		Pl. 9, fig. 14.
335	Appareil de M. Canson.	203	
	<i>Cylindres.</i>		
336	Marche de la vapeur; tuyau d'introduction.	204	Pl. 4, fig. 4, 5, 6.
337	Eau qui remonte dans la chemise.	205	
338	Nécessité d'augmenter alors la tension dans le générateur.		
339	Insuffisance du tuyau pour débiter la vapeur.		
340	Du robinet et du tuyau de décharge.	206	
341	Précautions à prendre en hiver.	207	
342	Du parallélisme des cylindres.	208	
343	Rupture du fond du petit cylindre.	209	
344	Envoi de la vapeur dans la chemise pour re- connaître les fuites des cylindres.	210	
345	Symptômes de la rupture du fond du grand cylindre.		
346	Réparation avec une plaque.	211	
347	Masticage des cylindres à la chemise.		
348	Cylindres et chemises coulés d'une pièce.	212	
349	Masticage du plateau.		
350	Boîte à étoupes.	214	
351	Recommandage des cylindres brisés.	215	
	<i>Pistons. —</i>		
352	De l'engorgement du piston.	216	Pl. 5, fig. 1, 5, 9.
353	Moyen de reconnaître si le piston laisse échap- per la vapeur.	217	
354	Des ressorts.	218	
355	De la longueur à donner à la tige des pistons.	219	
356	Clavette du piston qui échappe.	220	
357	Tige trop courte.		
358	Du jeu que prennent les pistons sur leurs tiges.	221	
359	La tête du piston ne doit pas tourner.		
360	Pistons à trois segments.		
361	Des segments.	222	
362	Pistons des machines à basse pression.	223	
	<i>Entablement et balancier.</i>		
363	Invariabilité de l'entablement.		Pl. 4, fig. 1, 2, 3, 7, 9.
364	Entablement à T.	224	
365	Du jeu que prennent les boules du balancier.		
	<i>Parallélogramme.</i>		
366	De nettoyage du parallélogramme.	225	Pl. 4, fig. 5, 6.
367	De l'usure de ses grains.	226	
368	Montage de ses pièces.		
369	Son règlement.	227	
370	Tringles articulées du chariot.	229	
371	Le régler au bas de sa course.	232	
	<i>Bielle et manivelle.</i>		
372	Des grains de la bielle.	233	Pl. 4, fig. 1, 2.

Articles.		Page.	Désignation des planches
408	Grains qui tournent.		
409	Des grains de la manivelle.	234	
	<i>Régulateurs.</i>		
411	Des boîtes à vapeur et soupapes à moyenne pression.		Pl. 6.
412	Pose des boîtes à vapeur; de leur perpendicularité.		
413	De l'écartement des boîtes.	256	
414	Tuyaux de communication.		
416	Masticage des boîtes.		
417	Boîtes dressées et rodées.		
418	Du passage de la vapeur à travers le masticage de la boîte du petit cylindre.		
420	Du passage de la vapeur à travers le masticage de la boîte du grand cylindre.	258	
422	De l'entretien du robinet régulateur.	259	Fig. 3.
423	Tuyau des boîtes.	261	
426	De l'entretien de l'excentrique.		
427	Du masticage du plateau des boîtes.	262	
428	Soupapes coniques.	263	
429	Signes auxquels on reconnaît que la soupape conique inférieure est détachée.	264	
430	Soupape supérieure.		
431	Du règlement des soupapes.		
434	De l'avance du tiroir.	267	
436	Toutes les vis bien serrées.	269	
439	Nécessité d'un parfait règlement	270	
	<i>Régulateurs à tiroir.</i>		
440	Régulateur des machines à deux cylindres d'Edwards.	251	Pl. 7.
442	Leurs qualités et leurs défauts.	252	
443	Des robinets distributeurs.	253	
444	Régulateur des machines à basse pression dites de Watt et Boulton.	254	
445	De la détente.	255	Pl. 8, fig. 1, 2, 3, 4, 5.
446	Travail de la détente.		
447	Détente dans les machines de Woolf.	256	
448	Variations de la détente.		
449	Détente réglée par le modérateur.		
450	Détente de J.-F. Saulnier.	257	
452	Règlement des tiroirs de J.-F. Saulnier.	258	Pl. 11, fig. 1, 2, 3.
453	Avance à donner.		
454	Ce procédé s'applique à toutes les machines.	259	
	<i>Condenseur.</i>		
455	Des cas dans lesquels le condenseur peut puiser directement l'eau du puits.		Pl. 5, fig. 4.
456	Tension de l'air et de la vapeur dans le condenseur.	260	
458	De l'échauffement du condenseur plongé dans une bûche.	261	
459	Echauffement du condenseur qui aspire l'eau du puits.	262	
460	De l'engorgement du tuyau d'aspiration.		
461	Règlement du robinet d'aspiration.	263	
462	Influence de la température de l'eau du condenseur sur l'aspiration, quand le puits est profond.		
463	Usure de la garniture du piston et de la boîte à toupes.	265	

Articles		Pgs.	Désignation des planches.
464	Le piston peut tomber au fond du condenseur.	264	
465	Durée de la garniture du piston.	265	
466	De l'air que donne le condenseur, et des moyens de reconnaître les ouvertures par lesquelles il pénètre dans la machine.		
467	Danger de l'air que prennent les machines.	266	
468	Mesure du vide dans le condenseur.		
469	Clapet qui ne retombe pas.	267	
470	De la quantité d'eau nécessaire à la condensation (note 9).		
471	Des dépôts qui engorgent le condenseur.	268	
472	Appareil de condensation de S. Hall.	269	
473	Refroidissement continu de l'eau de condensation.	270	
<i>Pompes de puits.</i>			
475	De la quantité d'eau que peuvent fournir les pompes.	271	Pl. 8, fig. 6.
476	Proportions des pompes.	272	
477	Construction de la pompe foulante.		
478	Usure des soupapes.		
479	Du cuir ou de la boîte à étoupes.	273	
480	De la hauteur à laquelle on doit placer la pompe dans le puits.	274	
481	De la pose de la pompe.		
484	Des causes qui diminuent le produit des pompes à eau.		
485	De la vitesse à leur donner.	276	
486	Du diamètre des tuyaux d'aspiration et de refoulement.		
488	Nétoyage du poils.	277	
<i>Modérateur.</i>			
489	Méthode pratique pour le régler.	278	Pl. 5, fig. 3.
490	De sa vitesse moyenne.	279	
491	Calcul des poulies de commande.		
492	Des limites dans lesquelles il régularise la vitesse des moteurs.	280	
494	Des moyens d'étendre ses limites d'action.	281	
TROISIÈME PARTIE.			
SOINS GÉNÉRAUX À DONNER AUX MACHINES À VAPEUR.			
<i>Mastics.</i>			
495	Précautions à prendre dans les masticages.	282	
496	Diverses espèces de mastics.	283	
497	De la composition du mastic de fonte.		
498	De son emploi.	284	
503	Du mastic de fonte et de soufre fondu.	286	
504	Du mastic rouge et de sa préparation.	288	
505	De son emploi.		
506	Masticage des tuyaux.	288	Pl. 9, fig. 10, 11, 12, 13.
507	Mastic économique.	289	
508	Masticage d'un plateau.		
509	Autre mastic à la chaux vive.	290	
511	Fermeture par un anneau en cuivre.		
512	De la graisse des os.		
<i>Communications de mouvement.</i>			
514	Des arbres et des poliers.	291	Pl. 9, fig. 1, 2.
516	Des grains.	292	Pl. 5, fig. 7.

Articles.		Pag.	Désignation des planches.
517	Graissage et réparation.	293	
520	Des grains en bois dur.	294	
521	Des galets.	295	
523	Des grains en fonte et en acier.		
525	Des engrenages.	296	Pl. 9, fig. 3, 4, 5, 6,
524	Du jeu que prennent les dents de bois.	296	7, 8, 9.
525	Des bois à employer pour les dents.		
526	Des mortaises des dents.	297	
527	De la préparation et de la pose des dents.	298	
528	Du tournage des engrenages à dents de bois.	299	
531	De la division des dents.	300	
533	Mesures d'un pas employé dans plusieurs atel-		
	liers.	302	
534	Tracé de l'épaisseur des dents.		
535	De leur courbure.	303	
536	De l'emploi des calibres.	304	
539	Usure des roues d'angles callées sur un arbre		
	vertical.	305	
540	Du callage des roues.	306	
541	Callage sur arbres carrés ou à paus.		
543	De la nécessité de fixer invariablement les		
	paliers.		
546	Des cordes.	309	
547	Des courroies.	310	
548	Conditions pour bien marcher.	311	
549	De leur entretien.	312	
550	De la pose des tambours et poulies destinés à		
	porter des courroies.		
551	Des chaînes.	313	
	<i>Conduite des machines à vapeur.</i>		
552	De la nécessité de réparer immédiatement les		
	accidents.		
553	De la surcharge des machines.	314	
554	Des défauts qu'il faut éviter les propriétaires		
	de machines à vapeur.	315	
555	Du but qu'ils doivent se proposer.	316	
556	De la propriété à exiger des chauffeurs.	317	
557	Nétoyage de chaque semaine.	318	
558	De la clôture des fenêtres et des portes.		
559	Précautions à prendre pour ne pas fatiguer les		
	pièces de la machine.	319	
560	De la visite du propriétaire.	320	
561	Examen du condenseur.		
562	De la bielle.		
563	Des boîtes à vapeur.	321	
564	Du manomètre.		
565	De l'alimentation.		
566	Des soupapes de sûreté.	322	
567	Des qualités nécessaires au chauffeur.		
568	Du chauffage de la chaudière.	323	
569	Du graissage de la machine.		
570	De l'expulsion de l'air des cylindres.	324	
571	De la mise en activité de la machine.		
572	Du graissage des pistons.	325	
573	Présence du chauffeur à sa machine.	326	
574	La machine fermée aux ouvriers.		
575	Cloche d'alarme.		
576	De la surveillance du chauffeur.	327	
577	De la conduite du feu (note 4).		
578	Proportions des charges.	328	
579	Décrassement de la grille.	329	
	<i>Marche des fourneaux.</i>		
580	Influence de la saison.	330	

Articles.		Pag.	Désignation des planches.
581	Nécessité de connaître la dépense de combustible.		
582	Comptabilité du combustible.	331	
583	Feuilles de semaine.		
584	Surveillance des machines dans le Cornouailles.	332	
585	Service que peut faire un chauffeur.		
586	Nétoyage du cendrier.		
587	Des moyens d'éviter la fumée dans les fourneaux.	333	
588	Conduite du registre.	334	
589	Des moyens d'arrêter l'excès de tension de la vapeur.	335	
590	Des précautions à prendre en arrêtant les machines.	336	
591	Régularité de la pression de la vapeur.		
592	Mesure de la qualité des fourneaux de machines à vapeur, par l'eau de condensation (note 9).	337	
593	De la vitesse à donner aux machines à vapeur.	338	
594	Vitesse des pistons de machines à vapeur.		
595	Vitesse de régime de quelques machines.		
596	Du métronome (note 10).	339	
597	Du compteur.	340	
598	Graissage.		
599	<i>Pose des machines à vapeur.</i>	342	
601	Beffrois en bois et masties.		
602	De la chambre de la machine.	344	
603	Châssis en bois.	345	
604	Chaudière.		
605	De l'arbre et de la manivelle.	346	
606	Du volant.	347	
609	Du balancier.	348	
610	Du grand axe de la machine et de la bielle.	350	
614	De la grande plaque et des colonnes.		
612	Axe de rotation de la manivelle.		
613	Entablement, grande plaque et colonnes.	351	
614	Axe de rotation du balancier.		
615	Condenseur et cylindres.	352	
616	Autres pièces de la machine.	353	
617	La machine doit être montée d'avance dans l'atelier de construction.	354	
618	Machines portatives.	355	
619	Machines à un cylindre.		

Pl. 4.

QUATRIÈME PARTIE.

CHOIX ET ACHAT DES MACHINES A VAPEUR.

620	<i>Utilité comparative des divers systèmes de machines à vapeur.</i>	356
624	Des divers systèmes de machines à vapeur.	357
622	Des machines à vapeur à haute pression sans condensation.	358
623	Leur emploi le plus utile.	359
624	Appliquées aux locomotives.	360
625	De la consommation des machines sans condensation.	
626	Des machines à vapeur à haute pression et à condensation; de l'irrégularité de leur marche.	361
627	De leur emploi sur les steamers et de leur consommation.	362
628	Des machines à trois cylindres de M. L. Granger.	363

Articles.		Fig.	Désignation des planches.
629	Des machines de Woolf et de Watt.		
630	Inconvénient des machines à vapeur à moyenne pression et à deux cylindres.	364	
632	Des avantages que présentent les machines à basse pression.	366	
633	Comparaison des deux systèmes de machines ; avantages des machines de Woolf, et défauts de celles de Watt : de leur consommation en combustible et de leur puissance.		
634	Consommation comparée de ces machines.		
635	Excès de charge que peuvent supporter les machines de Woolf.	367	
637	Des frais proportionnels dans les deux systèmes de machines.	368	
	<i>Frais d'entretien et réparation d'une machine de quinze chevaux à deux cylindres.</i>	370	
638	Durée des diverses pièces.		
639	Frais d'entretien.		
640	Frais de conduite journalière.		
641	Dépense annuelle.	371	
	<i>Mêmes frais pour une machine de 45 chevaux à basse pression.</i>		
	Consommation d'une machine de 33 chevaux à basse pression.	372	
642	Frais de conduite journalière.		
644	Frais d'entretien.		
	<i>Frais de réparation, d'entretien et journaliers des machines à haute pression sans condensation.</i>		
645	Dépense annuelle d'une machine sans condensation.	373	
	Tableau des dépenses annuelles des trois principaux systèmes de machine à vapeur.	374	
646	Résultats comparatifs des trois systèmes.	375	
647	Choix entre les trois systèmes.		
648	Des divers modes de construction.		
649	Conduite et entretien des locomotives et des machines de bateaux.		
650	Des machines à rotation.	377	
	<i>Machines oscillantes :</i>		Pl. 8, fig. 7, 8, 9, 10
651	Leurs qualités.		
652	Leurs défauts.	378	
653	Machines montées sur roues dites locomobiles.		
	<i>Comparaison des machines à vapeur avec les divers moteurs.</i>		
654	Des moulins à vent.	379	
655	Des manèges.		
656	De leurs frais généraux.	380	
657	Manèges à bœufs.		
658	Compte des frais de moteur pour une filature de coton à manège.	381	
659	Frais de la même filature avec machine à vapeur.	382	
660	Comparaison des résultats.		
661	Des roues hydrauliques.	383	
662	De leurs défauts.	384	

Articles.		Fig.	Désignation des planches
664	Sources de procès: ils tarissent et gèlent.		
665	Ils sont rarement puissants.		
665	Comparaison des machines à vapeur et des cours d'eau.	386	
666	Frais généraux d'un moulin à eau et d'un moulin à vapeur en ville.		
670	Frais du même moulin à eau situé hors de la ville.	389	
672	Compte des frais de moteur d'une filature de coton sur machine à vapeur et sur cours d'eau.	391	
	Frais généraux de la machine à vapeur.		
673	Compte annuel de frais généraux du cours d'eau.	392	
674	Comparaison.	393	
675	Valeur d'un cours d'eau en Normandie.	394	
	<i>Observations sur la manière de traiter avec les mécaniciens.</i>		
677	Questions à poser avant d'entreprendre une manufacture.	398	
678	Choix de la machine à vapeur (note 15).	397	
679	Du marché à passer avec les mécaniciens.	398	
682	Nécessité d'un ingénieur pour organiser l'en- semble des travaux.	400	
684	Honoraires de l'ingénieur.	402	
685	Du prix des machines.	403	
686	Nécessité d'un prix qui permette aux méca- niciens des perfectionnements.	404	
687	Meilleures garanties morales des construc- teurs.	405	
689	Examen et réception des machines à vapeur.	406	
692	Méthode d'essai des fourneaux, et de la con- somption des machines.	409	
693	Causes d'erreur dans les essais trop courts.		
694	Méthode à suivre pour faire une expérience exacte.	410	
696	<i>Calcul et mesure de la force des machines à vapeur (note 2).</i>		
698	Mesure commune des moteurs.	412	
699	Mesure de la force des machines à basse pres- sion et sans détente.		
700	Tension du condenseur en sens contraire du mouvement.	413	
701	Calcul d'une machine à haute pression sans détente.	414	
702	Machine à simple effet.	415	
703	Calcul de la vitesse du piston.		
704	Calcul de la détente.	416	
705	Formule rigoureuse.		
706	Formule moins exacte.	418	
707	Méthode abrégée pour calculer le travail des machines à vapeur.	419	
708	Exemple de calcul.	421	
709	Méthode défectueuse au-delà des détentes à 6 volumes.	422	
710	Méthode des mécaniciens donne des résultats trop forts.		
711	Machine à deux cylindres.		
712	Effets utiles des machines à vapeur.	424	
713	Applications.	425	
714	Expression commune de la force des machines en chevaux-vapeur.		
715	Du frein dynamométrique de Prony.	426	

Articles.		Pag.	Désignation des planches.
718	Du frein dynamométrique de Morin.	429	
	<i>Observations sur les ordonnances et instructions relatives aux machines à vapeur et pièces officielles (notes 13, 14 et 15).</i>		
719	Intérêt de la question.	430	
720	Inconvénients du mode adopté.		
721	But à peu près impossible à atteindre directement.	432	
722	Causes inévitables de hausse dans la pression.	433	
723	Soupapes.	434	
724	Rondelles.	435	
725	Manomètre.		
726	Placement des chaudières au milieu des forges.	436	
727	L'ordonnance qui le défend est inexécutable et inexécutée.	437	
28	Pénalité sévère à établir, et responsabilité des propriétaires.		
 CINQUIÈME PARTIE. 			
APPENDICE.			
	Théorie élémentaire des vapeurs, par M. Pé- elet. Table des forces élastiques de la vapeur d'eau, et des températures correspondantes.	451	
 NOTES DIVERSES. 			
	<i>Note première.</i>		
	Influence de la hauteur des cheminées.	452	
	<i>Note deuxième.</i>		
	Formule générale pour calculer une machine à vapeur à piston, par Lucas Champion- nière.	453	
	<i>Note troisième.</i>		
	Nétoyage des chaudières par l'aide chlorhy- drique.	458	
	<i>Note quatrième.</i>		
	De la fermeture du cendrier.	459	
	<i>Note cinquième.</i>		
	Du mesurage ou blocage de la houille.	459	
	<i>Note sixième.</i>		
	Calcul des soupapes de sûreté.	466	
	<i>Note septième.</i>		
	Pression du dehors au dedans sur les sou- papes à siège plat.	468	
	<i>Note huitième.</i>		
	Poids de la vapeur d'eau.	469	
	<i>Note neuvième.</i>		
	De la quantité de chaleur que renferme la vapeur d'eau.	470	

Articles.	Page.	Désignation des planches.
<i>Note dixième.</i>		
Table des longueurs du pendule qui donne un nombre déterminé de coups de piston en une minute, à Paris.	471	
<i>Note onzième.</i>		
Composition des rondelles fusibles.	472	
<i>Note douzième.</i>		
De la loi de Mariotte et de l'échelle de graduation des manomètres.	473	
<i>Note treizième.</i>		
Table officielle des diamètres des soupapes de sûreté et des rondelles.	474	
<i>Note quatorzième.</i>		
Table des épaisseurs des chaudières. — Ordonnance du 12 juillet 1828.	479	
<i>Note quinzième.</i>		
Des demandes d'autorisation pour l'établissement des machines à vapeur.	480	
<i>Note seizième.</i>		
Rallentissement du courant d'air à travers une petite grille.	481	
LEGISLATION DES MACHINES A VAPEUR.		
PIÈCES OFFICIELLES.		
Ordonnance portant règlement sur les machines à feu à haute pression. 29 novembre 1825.	482	
Instruction sur les mesures de précaution à observer dans l'emploi des machines à vapeur à haute pression. 19 mars 1821.	484	
Deuxième instruction relative à l'essai et au timbre des chaudières et cylindres. 7 mai 1825.	491	
LEGENDE DES PLANCHES.	493	
Table des matières.	528	

FIN DE LA TABLE.

SBN

607 171





